



Le problème de la résistance des fluides dans l'Encyclopédie et l'Encyclopédie méthodique de Mathématiques

Alexandre Guilbaud

► **To cite this version:**

Alexandre Guilbaud. Le problème de la résistance des fluides dans l'Encyclopédie et l'Encyclopédie méthodique de Mathématiques. Suzanne Féry. Aventures de l'Analyse de Fermat à Borel : Mélanges en l'honneur de Christian Gilain, Presses universitaires de Nancy, pp.367-417, 2012. <hal-00923687>

HAL Id: hal-00923687

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00923687>

Submitted on 3 Jan 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Le problème de la résistance des fluides dans l'*Encyclopédie* et l'*Encyclopédie méthodique de Mathématiques*

Alexandre Guilbaud ¹

1. Introduction

L'*Encyclopédie* de Diderot et D'Alembert (1751-1765), son *Supplément* (1776-1777) et le dictionnaire de *Mathématiques* de l'*Encyclopédie méthodique* (1784-1789) sont bien connus de Christian Gilain, qui leur consacrait récemment un article (Gilain, 2010) dédié à la place de l'analyse dans la classification des mathématiques ². L'étude que je propose embrasse le même corpus mais porte sur un sujet différent, quoique d'intersection non nulle avec le développement de l'analyse : le problème de la résistance

1. Université Pierre et Marie Curie / Institut de mathématiques de Jussieu (UMR 7586 du CNRS). Courriel : guilbaud@math.jussieu.fr.

2. Il s'était déjà penché, quelques années plus tôt, sur la contribution mathématique de Condorcet au *Supplément*, sa répartition thématique et la question de sa datation (Gilain, 1993).

A. GUILBAUD

des fluides, en lien avec la question de son application à des problèmes pratiques et du rôle que jouent les sciences mathématiques dans ce cadre.

Dans la première édition de ses *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687), Newton imprime un tournant majeur à l'histoire de ce problème. Il établit, d'une part, une première loi théorique (dite loi ordinaire de résistance, ou loi du choc ou de l'impulsion) selon laquelle la résistance au mouvement de corps solides dépend de l'élément de surface sur lequel elle s'exerce, de la densité du fluide ainsi que du carré de sa vitesse et du sinus de l'angle d'incidence. Il avance, d'autre part, l'idée déterminante selon laquelle l'utilisation conjuguée de cette loi et du calcul différentiel et intégral doit permettre de déterminer mathématiquement la forme des corps éprouvant une résistance minimale et, ce faisant, s'avérer utile dans le domaine de l'architecture navale³.

La question de l'application à la pratique s'impose dès lors comme l'un des principaux enjeux théoriques du problème, d'autant que ses champs potentiels d'application sont nombreux et cruciaux d'un point de vue économique, militaire et social, qu'il s'agisse, au XVIII^e siècle, de l'artillerie, de la marine ou de l'hydraulique. Les obstacles à surmonter sont cependant de taille. Ils tiennent, d'un côté, à la haute difficulté théorique du problème, et, de l'autre, aux lignes de démarcation qui séparent savants et praticiens à cette époque et qui, si l'on en croit Prony dans le tome I de sa *Nouvelle architecture hydraulique*, commencent tout juste à s'estomper à la fin du XVIII^e siècle (Prony, 1790, p. v).

D'un point de vue théorique, le processus de construction de l'hydrodynamique mené dans le courant de la première moitié du XVIII^e siècle conduit en effet à de sérieux doutes quant à la conformité de la loi newtonienne à l'expérience. Les équations aux dérivées partielles gouvernant le mouvement d'un fluide établies par D'Alembert et Euler entre 1745 et 1755 rendent le malaise encore plus palpable : hors de portée de toute méthode de résolution analytique, elles ne permettent pas de parvenir à la formulation d'une nouvelle loi de résistance. Les nombreux travaux théoriques à visée pratique développés au cours de cette période doivent, dans ce contexte, s'accommoder d'une situation bien paradoxale, celle d'une loi des plus douteuses, mais que tout le monde persiste néanmoins, faute de mieux, à tenter de soumettre au calcul – tel est le cas, par exemple, du *Traité du*

3. Voir (Ferreiro, 2007, chap. 3) et (Ferreiro, 2010).

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

navire de Bouguer (1746) et de la *Scientia navalis* d'Euler (1749). L'espoir des savants, dès le milieu du XVIII^e siècle, repose ainsi sur la réalisation d'expériences plus précises (telles que celles présentées par Benjamin Robins dans ses *New Principles of Gunnery* de 1742), seule voie permettant d'aboutir, dans chaque situation concrète, à des formules suffisamment simples pour y être appliquées⁴.

L'application de la théorie de la résistance des fluides dans le domaine pratique se heurte, d'un autre côté, au fossé qui sépare alors hommes de sciences et hommes de l'art et que tend progressivement à combler la transformation du statut et du champ de compétences de l'ingénieur au XVIII^e siècle, l'un des principaux acteurs susceptible, en « réduisant » la théorie en art, de faire le lien entre les deux versants du problème. Ce processus complexe, qui implique en particulier la délimitation, dans un temps propre à chaque domaine, de champs de connaissances, de méthodes et de techniques spécifiques (ce que nous pourrions appeler les « sciences de l'ingénieur » en référence au titre de l'ouvrage publié par Bélidor en 1729), connaît globalement une nette accélération à partir du milieu du siècle, sous l'effet conjugué de multiples facteurs, dont l'essor des tentatives de mathématisation de problèmes physiques et l'accroissement de la place des mathématiques dans la formation des ingénieurs⁵.

La coexistence de ces deux enjeux donne lieu à de multiples tensions dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, que ce soit entre savants ou entre savants et ingénieurs. C'est dans ce contexte que s'inscrivent par exemple les débats en lien avec l'affaire du canal de Picardie sous le ministère Turgot (1774-1776) et, plus généralement, les nombreuses querelles et polémiques constitutives de ce que R. Hahn a appelé la crise de l'hydrodynamique des années 1760 et 1770⁶ : les discussions tournent principalement autour de la concordance entre théorie et expérience, des difficultés attendant à la mathématisation de problèmes concrets, des fondements mécaniques de la théorie des écoulements, du rôle des mathématiques en matière d'expertise technique ainsi que de la formation des ingénieurs dans le domaine théorique.

Envisagée sous l'angle de ses applications potentielles, la résistance des fluides pose donc plusieurs questions à l'historien, dont celle du rôle de la théorie, et des « mathématiques » en particulier (au sens de l'époque, ce

4. Voir (Calero, 2008).

5. Voir (Picon, 1992), (Vérin, 1993) et (Bret, 2002).

6. Voir en particulier (Hahn, 1964b), (Guilbaud, 2007) et (Guilbaud, 2008).

A. GUILBAUD

qui inclut également la mécanique, l'astronomie, etc.⁷), en tant qu'elles se trouvent confrontées, dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, à des obstacles susceptibles de faire douter de leur utilité en la matière. Compte tenu du projet de réorganisation disciplinaire poursuivi dans l'*Encyclopédie méthodique*, il m'a paru intéressant de confronter cette question à la façon dont le dictionnaire de *Mathématiques* réorganise et actualise sur ce sujet les matériaux sur lesquels il s'appuie, à savoir ceux de l'*Encyclopédie* de Diderot et de D'Alembert. Là où l'objectif de l'*Encyclopédie* consiste à rendre compte de l'état des connaissances humaines sur chaque art et sur chaque science ainsi que des liens qui les unissent, celui de l'*Encyclopédie méthodique* vise en effet à resserrer l'exposé de chaque dictionnaire autour des seuls aspects relevant de la matière qu'il doit traiter. Pour peu que l'on procède à un examen précis de la nature des changements apportés au corpus d'articles abordant le sujet de la résistance des fluides dans l'*Encyclopédie*, le dictionnaire de *Mathématiques* constitue donc un terrain d'étude propice au questionnement soulevé.

Que l'on ne s'y trompe pas cependant, le travail que je propose n'a pas, à proprement parler, pour ambition d'apporter un nouvel éclairage sur l'histoire du problème de la résistance des fluides, mais plutôt de comprendre quelle conception du rôle et de l'utilité des « mathématiques » se dégage, relativement à ce sujet, de l'étude du contenu du dictionnaire de *Mathématiques* et de sa comparaison avec celui de l'*Encyclopédie*. Il s'agira donc aussi bien de comprendre dans quelle mesure cette conception dépend de ses deux metteurs en œuvre, Bossut et Charles, ainsi que des contraintes imposées par l'éditeur de l'*Encyclopédie méthodique*, Panckoucke, en terme de complémentarité entre les différents dictionnaires et, partant, d'apporter des éléments de réponse à quelques-unes des questions posées par A. Coste et P. Crépel dans leur « Prospectus pour une étude du dictionnaire de *Mathématiques* de l'*Encyclopédie méthodique* » (2006).

Je m'appuierai, pour ce faire, sur l'étude que j'ai préalablement effectuée du corpus d'articles abordant le problème de la résistance des fluides dans l'*Encyclopédie* de Diderot et D'Alembert. A défaut d'en rendre compte de façon exhaustive⁸, je commencerai ici par en donner une synthèse expo-

7. Afin d'éviter toute ambiguïté, j'utiliserai le terme « mathématiques » entre parenthèses pour désigner le sens qu'on lui accorde généralement au XVIII^e siècle.

8. Cette étude fera l'objet d'un article spécifique, à paraître en 2012 dans le numéro 47 de la revue *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*.

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

sant les éléments nécessaires à la comparaison ultérieure de ce corpus avec son devenir dans l'*Encyclopédie méthodique de Mathématiques*.

2. Le problème de la résistance des fluides dans l'*Encyclopédie de Diderot et D'Alembert*

À la différence de l'*Encyclopédie méthodique*, visant à réorganiser les connaissances par discipline dans une collection de dictionnaires supposés complémentaires les uns des autres, le projet de l'*Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, tel qu'explicité par Diderot dans le *Prospectus* de 1750 puis par D'Alembert dans le *Discours préliminaire* (publié au début du premier volume en 1751), consiste à concilier deux logiques dans un même ensemble : celle d'un dictionnaire, via le classement par ordre alphabétique des articles que comptent les dix-sept volumes de textes de l'ouvrage, et celle de l'ordre encyclopédique, qui doit permettre, en faisant voir la « chaîne qui les unit », de « s'apercevoir que les Sciences et les Arts se prêtent mutuellement des secours » (*Enc. I*, 1751, p. i)⁹.

Compte tenu de ses différents champs potentiels d'application, le sujet de la résistance des fluides est donc susceptible d'être abordé sous deux angles différents, celui des sciences et celui des arts : tels sont les deux versants, idéalement liés l'un à l'autre, d'un champ de connaissances appliquées dans l'*Encyclopédie*. Nous rencontrerons ainsi à la fois la balistique (théorie du jet des bombes) et l'« art de jeter les bombes », l'hydrodynamique (science du mouvement des fluides) et l'hydraulique (l'art de conduire et d'élever les eaux), ou encore l'architecture navale et l'art de construire les navires. Les frontières entre arts et sciences sont cependant encore très poreuses et fluctuantes au milieu du XVIII^e siècle, ce que D'Alembert confirme d'ailleurs lui-même, en précisant dans le *Discours préliminaire* que, d'un point de vue terminologique, « plusieurs de nos sciences sont des arts » lorsqu'elles sont « envisagées par leur côté pratique » (*Enc. I*, 1751, p. xij). Seule l'étude du contenu des articles permettra d'identifier les éléments relevant plus spécifiquement de la théorie du savant, de la science de l'ingénieur ou de l'art du praticien.

9. L'abréviation « *Enc. I* », fréquemment utilisée par la suite, signifie « *Encyclopédie*, t. I ».

A. GUILBAUD

Il s'agira par conséquent de se demander sous quel(s) angle(s) le sujet de la résistance des fluides se trouve abordé, quels champs d'application sont concernés, s'il existe enfin certaines passerelles entre arts et sciences (ou certaines « chaînes », pour reprendre le terme consacré) et ce qu'elles révèlent des relations entre théorie et pratique. De la même façon que pour l'*Encyclopédie méthodique*, les réponses à ces questions dépendent, pour une large part, du processus de fabrication de l'ouvrage. Je chercherai donc avant tout à caractériser l'image que les encyclopédistes donnent des rapports entre théorie et pratique à l'orée de la seconde moitié du XVIII^e siècle et à comprendre dans quelle mesure cette image dépend elle-même de leurs compétences, de leurs conceptions en la matière ainsi que de leurs responsabilités respectives dans l'entreprise éditoriale.

Constitution d'un corpus d'articles et premiers constats

La première difficulté d'une étude thématique dans l'*Encyclopédie* tient à la constitution d'un corpus d'articles pertinent. J'ai, pour ce faire, procédé à la recherche des occurrences des termes « choc », « impulsion », « frottement » / « frotement », « résistant » et « résistance » dans les dix-sept volumes de textes de l'*Encyclopédie* (publiés entre 1751 et 1765), ce par le biais du moteur de recherche de l'édition électronique réalisée dans le cadre du projet ARTFL (ATILF-CNRS et Université de Chicago)¹⁰. Cette étape préliminaire m'a conduit à un premier ensemble d'articles dont j'ai ensuite exclu, sur la base de leur contenu, les nombreux éléments sans rapport avec mon sujet.

Le résultat rassemble vingt-quatre articles que j'ai dès lors soumis à divers examens préalables indispensables à toute étude d'un corpus dans l'*Encyclopédie* : l'identification (parfois trompeuse) des auteurs en fonction des signatures relevées ; le repérage des éléments relevant de l'ordre encyclopédique, c'est-à-dire du désignant de l'article (il s'agit de l'indication qui apparaît généralement à la suite du titre et est censée correspondre à la branche du savoir dans le *Système figuré des connaissances humaines* auquel l'article se rapporte) et des renvois censés permettre d'indiquer les liaisons entre les articles (et, par là même, entre les matières) ; la comparai-

10. Cette édition électronique de l'*Encyclopédie*, réalisée sous la direction de R. Morrissey, est consultable à l'adresse <http://encyclopedie.uchicago.edu/>.

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

son de chaque article avec son éventuel correspondant dans la *Cyclopaedia* de Chambers¹¹ (afin d'identifier les articles ou extraits d'articles repris de la traduction française de cette encyclopédie et, ce faisant, délimiter les apports propres à chacun des auteurs); la recherche, aussi exhaustive que possible, des autres sources utilisées par les différents auteurs concernés (extraits de leurs propres travaux, de travaux d'autres auteurs, etc.). La majeure partie des ces informations est rassemblée dans le tableau consultable en annexe I.

Un premier examen d'ensemble montre que les vingt-quatre articles identifiés recouvrent un large panel de branches du savoir relevant à la fois des sciences mathématiques, de la physique et des trois principaux champs potentiels d'application du problème : l'art militaire, la marine et l'hydraulique. Deux encyclopédistes se distinguent par le nombre d'articles rédigés et corédigés : D'Alembert et d'Argenville. Le premier est l'auteur des articles de « mathématiques » et de physique ainsi que de plusieurs compléments faits en qualité de codirecteur. Les contributions du second se bornent aux articles d'hydraulique et de jardinage. L'article touchant à l'art militaire est de Le Blond, celui de marine est cosigné par Bellin. Le tout paraît donc cohérent avec la distribution des rôles explicitée à la fin du *Discours préliminaire* (*Enc. I*, 1751, p. xlj-xlv). Le document témoigne enfin clairement de l'abandon de la charge de codirecteur de l'*Encyclopédie* par D'Alembert en 1758 : à l'inverse des articles appartenant aux sept premiers volumes, les articles des tomes VIII à XVII sont quasiment tous des traductions partielles ou intégrales de leurs correspondants dans la *Cyclopaedia* de Chambers.

Comme plusieurs études parues dans la revue *Recherches sur Diderot et l'Encyclopédie* l'ont montré¹², le système des désignants et des renvois doit être utilisé avec précaution : les frontières des différentes branches du savoir sont encore très poreuses au milieu du XVIII^e siècle, et l'ordre encyclopé-

11. Profitant de la récente mise en ligne (29 février 2012) de sa version numérisée sur le serveur *Google Books*, j'ai effectué cette comparaison sur la base de la cinquième édition de la *Cyclopaedia*, celle de Londres, dont les deux volumes paraissent respectivement en 1741 et 1743. Il semble que cette édition, identique à celle actuellement conservée à la Bibliothèque de l'Arsenal à Paris, soit probablement celle ou une de celles traduites par les encyclopédistes. Voir, à ce sujet (Sumi, 2002) et (Passeron, 2006b).

12. Voir en particulier (Crépel, 2006), (Firode, 2006) et (Passeron, 2006a).

A. GUILBAUD

dique n'est souvent que partiellement mis en place. Si les éléments relevant de l'ordre encyclopédique ne dispensent donc pas d'une analyse précise du contenu des articles pour qui souhaite caractériser la nature des savoirs mobilisés, les informations rassemblées en annexe I permettent néanmoins d'identifier plusieurs sous-groupes (parfois réduits à des singletons) à partir desquels structurer notre étude des liens entre théorie et pratique relativement au problème de la résistance. Compte tenu de leur place centrale, tant vis-à-vis du sujet que du jeu des renvois à l'intérieur de notre corpus, les articles FLUIDE et RÉSISTANCE *des fluides*, signés par D'Alembert, forment le premier d'entre eux.

Les articles FLUIDE et RÉSISTANCE *des fluides*

La dernière et substantielle partie de l'article FLUIDE, consacrée à la question de la résistance, est intégralement constituée d'importants extraits de l'introduction à l'*Essai d'une nouvelle théorie de la résistance des fluides* (ERF) de D'Alembert (1752), c'est-à-dire le traité dans lequel ce dernier parvient à établir les premières équations aux dérivées partielles gouvernant l'écoulement d'un fluide autour d'un corps solide immergé. D'Alembert fait part de ses doutes et objections à l'encontre de la théorie de la résistance de Newton, donne un aperçu du contenu de l'ERF et des principes qui le sous-tendent. Il fait aussi et surtout état des deux principales difficultés auxquelles sa théorie analytique doit faire face : l'incapacité dans laquelle il se trouve de résoudre les équations obtenues et l'impossibilité de pouvoir comparer sa théorie de la résistance des fluides aux expériences « si peu d'accord entre elles » que « plusieurs physiciens ont faites pour la déterminer » (*Enc.* VI, 1756, p. 890a)¹³.

L'article RÉSISTANCE *des fluides* s'appuie, pour l'essentiel, sur l'article RESISTENCE *of fluids* de la *Cyclopaedia* de Chambers. D'Alembert y recopie en particulier le résumé que ce dernier donne de quelques-uns des principaux résultats exposés dans le livre II, section VII, de la première édition des *Principia* (1687) – et y effectue les corrections nécessaires dans la mesure où cette partie a considérablement été remaniée par Newton dès la

13. Pour plus de détails à propos de l'ERF de D'Alembert, voir (Grimberg, 1998) et (Darrigol, 2005).

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

seconde édition (1713) de l'ouvrage¹⁴. Il se contente, outre cela, de deux ajouts personnels. Le premier concerne la question du solide de moindre résistance – c'est-à-dire le problème mathématique consistant à déterminer les formes de proues de navires offrant une résistance minimale à l'avancement –, à propos duquel le savant souligne que Newton en a donné une solution sans démonstration dans ses *Principia* et que Bouguer l'a résolu depuis de façon plus générale dans un mémoire de 1733 (Bouguer, 1735). Le second donne un bilan de l'état de la théorie cohérent avec le contenu de l'article FLUIDE.

Les deux articles, exclusivement théoriques et déconnectés des enjeux pratiques du problème, donnent donc une image à la fois pessimiste et clairvoyante de la situation au milieu du XVIII^e siècle : celle d'une impasse, non seulement d'un point de vue mathématique, mais aussi expérimental. « Cette matière », écrit-il, « pourroit bien être du nombre de celles où les expériences faites en petit n'ont presque aucune analogie avec les expériences faites en grand [. . .], où chaque cas particulier demande presque une expérience isolée, & où par conséquent les résultats généraux sont toujours, très-fautifs & très-imparfaits » (*Enc.* VI, 1756, p. 890a)¹⁵.

Le domaine de la marine

Concernant le domaine de la marine, J.-P. Séris (2002) avait déjà eu l'occasion de nous alerter sur le silence sidérant de D'Alembert dans l'*Encyclopédie* à propos de la question de la manœuvre des vaisseaux. Force est de constater que nous tirons le même constat au sujet de l'architecture navale.

14. J'ai ainsi été étonné de constater que le contenu de l'article RESISTENCE *of fluids* de la cinquième édition de la *Cyclopaedia* (1743) que j'ai consultée reste, à quelques variantes près (sans conséquence sur le fond) parfaitement identique à celui de la première édition, publiée en 1728, signe qu'il n'a guère été mis à jour depuis lors.

15. Le second groupe identifié parmi les vingt-quatre éléments de notre corpus rassemble une autre série d'articles théoriques connectés à l'article RÉSISTANCE *des fluides* par le jeu des renvois : l'article COHÉSION, de nature physique, ainsi que les articles DESCENTE ou CHUTE, PENDULE, RETARDATION, MILIEU (et sa sous-entrée MILIEU ÉTHÉRÉ) relevant de la mécanique. Je ne fais cependant ici qu'en mentionner l'existence, leur contenu, majoritairement tiré de la *Cyclopaedia*, n'apportant pas d'informations nouvelles, que ce soit au sujet de l'état de la théorie de la résistance des fluides ou de ses liens avec la question de ses applications.

A. GUILBAUD

Si D'Alembert apporte bien quelques compléments au texte de Chambers concernant le solide de moindre résistance dans l'article *RÉSISTANCE des fluides*, il ne fait aucune mention, ici ou ailleurs, du versant appliqué du problème et des trois grands ouvrages récemment parus à ce sujet : le *Traité du navire* (1746) de Bouguer et la *Scientia navalis* (1749) d'Euler (traités théoriques à visée pratique fondés sur la loi newtonienne de résistance), ainsi que les *Elémens de l'architecture navale* (1752) de Duhamel du Monceau (manuel pratique pour partie rédigé à partir du *Traité du navire* de Bouguer, et dédié aux élèves de l'Ecole royale des ingénieurs constructeurs de la Marine, dont il crée le premier embryon en 1741)¹⁶.

Seuls deux articles abordent en fait le sujet dans l'*Encyclopédie* : *CONSTRUCTION* et *VAISSEAUX*. Ce dernier, non signé, est intégralement constitué de larges extraits de l'article homonyme du *Dictionnaire historique, théorique et pratique de marine* d'Alexandre Savérien (1758). Il fait notamment état des règles de construction adoptées par le dénommé Hendricks, l'un des charpentiers-constructeurs de navires les plus appréciés de la première moitié du règne de Louis XIV. Son contenu, dénué de toute considération d'ordre théorique, se fonde sur l'expérience des constructeurs, présentée comme « la moins susceptible des fautes qu'on peut faire » dans ce domaine (Savérien, 1758, vol. 2, p. 357). L'article *CONSTRUCTION*, dû à Bellin, présente quant à lui les ouvrages de Bouguer et Duhamel du Monceau comme les deux sources principales de son texte, mais ne dit mot de l'une de leurs principales préoccupations : la détermination des formes de carènes offrant une résistance minimale à l'avancée des navires. Bellin livre donc également un article pratique totalement déconnecté du sujet de la résistance et de toute considération d'ordre théorique, sans que D'Alembert, en tant que codirecteur, ait jugé pertinent d'y insérer un complément.

C'est ce qu'il fera pourtant dans l'article *GOUVERNAIL*, en complétant la contribution de nature pratique de son collègue (description de l'instrument et mode d'emploi) par un exposé synthétique de la méthode devant permettre de résoudre mathématiquement le problème et par l'annonce, pour l'article *RAME*, « d'excellentes remarques » ayant « rapport à l'action de la puissance qui fait tourner le gouvernail & à la résistance de l'eau ». Il ne tiendra cependant pas sa promesse, probable conséquence de son désinvestissement de l'*Encyclopédie* à partir de l'année 1758¹⁷.

16. Sur ces trois ouvrages, voir (Ferreiro, 2007).

17. De même que l'article *VAISSEAUX*, l'article *RAME* est non signé et intégralement

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

La balistique et l'art militaire

L'étude des trois articles du corpus en relation avec la balistique et l'artillerie permet d'identifier deux sous-groupes distincts connectés l'un à l'autre par le biais du court article JET *des bombes* : les articles BALISTIQUE et PROJECTILE de D'Alembert, et l'article JET (*Art militaire*) de Le Blond.

Dans ses deux contributions (la seconde s'inspirant largement de l'article PROJECTILE de la *Cyclopaedia*), D'Alembert se livre, après en avoir donné une synthèse et les lois principales, à une sévère critique de la théorie galiléenne habituellement admise concernant le mouvement des projectiles : la plupart des savants, explique-t-il, ont adopté « la supposition que les corps se meuvent dans un milieu non-résistant ; supposition qui est assez éloignée du vrai ». C'est en effet, comme il le souligne avec insistance, ce que vient de démontrer Benjamin Robins dans ses *New Principles of Gunnery* (1742) « en joignant l'expérience à la théorie », et ce qui conduit Euler, dans un mémoire présenté en 1753 (Euler, 1755), à tenter de résoudre par approximation l'équation différentielle du mouvement – rendue non linéaire par l'intégration d'un terme de résistance dépendant (en accord avec la loi ordinaire de Newton) de la densité du fluide, de la forme de la partie avant projectile, et du carré de la vitesse¹⁸.

Professeur de mathématiques des Pages de l'Écurie du Roi, Le Blond donne, *a contrario*, un texte aux allures de cours à l'usage des artilleurs fondé sur l'hypothèse galiléenne d'un milieu non résistant (et reposant, par là même, sur les propriétés de la parabole), ce qu'il justifie en affirmant que « plusieurs expériences ont fait voir que la résistance de l'air n'opère pas assez sensiblement sur le mouvement des bombes, pour causer des erreurs sensibles dans les calculs où l'on en fait abstraction »...

Qu'elle soit ou non délibérée, l'image qui se dégage de la comparaison des trois articles, celle d'un dialogue de sourds, colle plutôt bien avec la réalité des relations entre théoriciens et praticiens dans la première moitié du XVIII^e siècle. La brèche, trop récemment ouverte par Robins, n'a pas

tiré de son homonyme dans le *Dictionnaire historique, théorique et pratique de marine* de Savérien.

18. S'il fait référence au mémoire d'Euler de 1753, D'Alembert ne fait cependant aucune mention de la traduction allemande et du commentaire critique de l'ouvrage de Robins que celui-ci publie en 1745. Sur ces différents travaux, voir (Steele, 1994).

A. GUILBAUD

encore porté ses fruits, et c'est donc de façon somme toute objective que D'Alembert conclut l'article PROJECTILE : « Quelques expériences grossières, & une pratique qui ne l'est guère moins, ont jusqu'à présent guidé les Artilleurs sur ce sujet ».

L'hydraulique

Le dernier sous-groupe concerne l'hydraulique qui, comme le précise l'article homonyme, correspond au versant appliqué de la science du mouvement des eaux, c'est-à-dire « l'art de les conduire, de les élever, & de les ménager pour les différens besoin de la vie ».

Outre l'article AUBE, dans lequel D'Alembert expose quelques principes théoriques tirés des mémoires de Pitot des années 1725 et 1729, l'article FLEUVE, dans lequel il rend compte de la théorie physique du mouvement des fleuves et des rivières sur la base du traité *Della natura de' fiumi : trattato fisico-matematico* de Guglielmini (1697)¹⁹, et l'article TUBE, qu'il emprunte en grande partie à l'article homonyme de la *Cyclopaedia*, les dix autres articles abordant la question de la résistance des fluides dans ce domaine sont tous signés ou cosignés par d'Argenville²⁰. Ils portent, à l'exception de l'article DIGUE, sur la question de la hauteur des réservoirs, des dimensions des conduites, de leurs ouvertures (en lien avec la question des ajutages) ainsi que du débit des eaux et de l'amplitude des jets qui s'en échappent. Ses contributions sont pour la plupart directement issues du *Traité d'hydraulique convenable aux jardins* qu'il publie en annexe de la quatrième édition de *La Théorie et la pratique du jardinage* (1747)²¹ et dont un « Avis » anonyme placé en entête précise que « l'Auteur n'y écrit point pour les Sçavans du premier ordre », mais que « ses vues se bornent » au contraire « aux personnes qui aiment la campagne, aux Jardiniers &

19. Notons que D'Alembert y donne également une brève description de l'instrument, inventé et présenté par Pitot à l'Académie en 1732 (Pitot, 1735) pour mesurer la vitesse des eaux courantes. Il présente néanmoins ce nouveau moyen comme encore « assez fautif », notamment « parce que la théorie des frottemens est très-peu connue ». Au sujet de cet instrument, voir (Rouse et Ince, 1957, p. 114-117).

20. Voir le tableau consultable en annexe I.

21. Ce qui permet notamment de montrer que l'article TUYAU (*hydr.*) *Proportion des tuyaux*, signé par Boucher d'Argis (A), est en fait de d'Argenville (le contenu étant constitué de différents extraits des pages 389 à 393 de son traité).

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

Fontainiers, plus souvent guidés par la pratique que par l'étude ».

Le style de d'Argenville dans ces différents articles relève de fait exclusivement d'un savoir-faire pratique. L'encyclopédiste se contente de donner quelques principes d'expérience ainsi que des règles élémentaires de dimensionnement permettant, via l'utilisation de règles de trois, d'adapter des formules empiriques tirées, bien qu'il ne soit pas cité, du *Traité du mouvement des eaux* de Mariotte (1686). Les problèmes liés à la résistance, simplement mentionnés, concernent essentiellement la résistance qu'oppose l'air à l'élévation de jets d'eau ainsi que le « frottement qui se fait contre les parois d'un tuyau, surtout dans les coudes & jarrets des conduites » (*Enc. VII, FROTTEMENT (Hydr.)*, p. 345b). Le style et la tenue des remarques de d'Argenville sur le sujet illustrent l'écart qui sépare sa contribution de celle d'un ingénieur en hydraulique tel que Bélidor, dont l'*Architecture hydraulique* (1737-1753) connaîtra un succès durable auprès des hommes de l'art²². Ils tranchent de même avec les compléments donnés par D'Alembert dans les articles DIGUE, JET d'eau (de même que dans d'autres éléments extérieurs à notre corpus, tels que l'article AJUTAGE), où l'académicien veille à inclure quelques références à des travaux académiques (dont le *Traité du mouvement des eaux* de Mariotte) et, comme dans l'article GOUVERNAIL de Bellin, à donner de brefs états des lieux de l'état de la théorie sur les problèmes pratiques concernés.

Vue d'ensemble

Le corpus d'articles traitant du problème de la résistance des fluides dans l'*Encyclopédie* renvoie donc finalement l'image d'une césure assez franche entre théorie et applications pratiques, que ce soit dans le domaine de la marine, de la balistique ou de l'hydraulique. Mises à part l'architecture navale et la manœuvre des vaisseaux, les différentes contributions de D'Alembert offrent certes un état des lieux souvent pertinent des avancées théoriques et des difficultés rencontrées, mais déconnecté, voire en totale contradiction, avec les contenus (de natures différentes, mais à dominante appliquée) des contributions proposées par Le Blond et d'Argenville sur la question de la résistance des fluides. Cette impression paraît d'ailleurs elle-même amplifiée par le constat qui se dégage de l'ensemble des apports

22. Voir (Picon, 1992, chap. 2).

A. GUILBAUD

de D'Alembert (et, plus généralement, de son œuvre en hydrodynamique pour la période 1740-1750) : constat d'échec du point de vue de l'application des « mathématiques » (y compris les plus sophistiquées) à la pratique, devant lequel le savant n'entrevoit qu'une seule issue possible, le recours à de nouvelles expériences, et met en garde contre la tendance « à ériger trop légèrement des formules d'algebre en vérités ou propositions physiques » (*Enc.* VI, 1756, FLUIDE, p. 890b).

Quoique cette image témoigne, à sa façon, des réelles incompréhensions et lignes de démarcation qui séparent hommes de science et hommes de l'art au milieu du XVIII^e siècle pour les trois domaines concernés, il ne serait cependant pas exagéré de penser que le choix de prendre pour collaborateur Bélidor pour l'hydraulique ou Duhamel du Monceau pour la marine ait permis d'en atténuer les fractures. Les critiques d'Honoré Sébastien Vial du Clairbois et de Louis-Felix de Keralio, respectivement responsables de l'*Encyclopédie méthodique* de *Marine* et d'*Art militaire*, à l'encontre des contributions de Bellin et Le Blond, montrent d'ailleurs que les deux encyclopédistes sont *a posteriori* considérés comme des gens peu compétents dans les domaines qui leur ont été confiés²³.

3. La résistance des fluides dans l'*Encyclopédie méthodique* de *Mathématiques*

Le projet du libraire Panckoucke, comme ce dernier l'explique lui-même dans la deuxième version du prospectus publiée en en-tête du dictionnaire des *Beaux-Arts* (1788), consiste à diviser l'*Encyclopédie* « en autant de *Dictionnaires Encyclopédiques* qu'[elle] renferme de parties principales » (*E.M. Beaux-Arts* I, 1788, p. v), c'est-à-dire d'arts et de sciences²⁴. Les auteurs, pour ce faire, ont à leur disposition un découpage d'articles de l'*Encyclopédie* et de son *Supplément* relatifs au champ de connaissances

23. Voir (*E.M. Beaux-Arts* I, 1788, p. xlj) et (*E.M. Math.* III, 1789, p. 34b). Les abréviations « *E.M. Beaux-Arts* I » et « *E.M. Math.* III », fréquemment utilisées par la suite, signifient respectivement « *Encyclopédie méthodique* des *Beaux-Arts*, t. I » et « *Encyclopédie méthodique* de *Mathématiques*, t. III ».

24. Alors qu'elle devait initialement en contenir 27, d'après le premier prospectus paru dans le *Mercur de France* du 8 décembre 1781, l'*Encyclopédie méthodique*, dont la publication débute en 1782, en comptera finalement 50 en 1832, pour un total d'environ 200 volumes.

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

qu'ils sont chargés de traiter, ainsi que la table en deux volumes du Pasteur Mouchon (1780). La mise en œuvre du projet implique donc préalablement la circonscription de chaque domaine dans des limites dont Panckoucke avoue lui-même qu'elles « ont été quelquefois difficiles à fixer » : d'une part, explique-t-il, « parce qu'il y a des connoissances, comme celles des sciences économiques, qui embrassent tout ce que l'on veut, & dont le circuit n'a jamais été bien déterminé » ; en raison, d'autre part, des problèmes posés par « les mots communs à plusieurs sciences & arts, & qui sont tout à la fois du domaine, soit du géomètre, soit du physicien » (*E.M. Beaux-Arts I*, 1788, p. v-vj).

Ces difficultés concernent au premier chef la question de la résistance des fluides, dont la théorie et les différents champs d'application impliquent en effet, d'après ce que nous venons de voir, une répartition des connaissances de l'*Encyclopédie* entre plusieurs des dictionnaires de l'*Encyclopédie méthodique*, notamment celui de *Mathématiques*, de *Physique*, de *Marine* ou d'*Artillerie*. De ce point de vue, l'étude des compléments, suppressions et modifications apportées à notre corpus d'articles initial dans la *Méthodique de Mathématiques* laisse donc espérer de contribuer, sur l'exemple particulier de la résistance des fluides, à mieux cerner les frontières attribuées aux « mathématiques » dans le dictionnaire, ainsi que les liens que ces dernières entretiennent avec le(s) processus (en cours) d'application de la théorie à différents problèmes concrets. Elle doit aussi nous permettre d'examiner dans quelle mesure les progrès expérimentaux, l'intensification de l'effort de mathématisation et la montée en puissance du rôle de l'ingénieur et de la technique qui caractérisent la seconde moitié du XVIII^e siècle influent sur la nature et le rôle des mathématiques exposées dans le dictionnaire.

Comme dans l'*Encyclopédie*, les réponses que nous serons à même d'apporter dépendent des choix des deux éditeurs identifiés de la partie mathématiques de l'ouvrage, Bossut et Charles – le premier passant le témoin au second quelque part entre la lettre F et la lettre I, c'est-à-dire au début du tome II²⁵. À la différence de l'*Encyclopédie*, elles dépendent cepen-

25. Voir (Coste et Crépel, 2006). Bien qu'aucun document ou étude n'ait jusqu'alors apporté d'argument allant en ce sens, il n'est toutefois pas exclu que Condorcet ait également pu joué un rôle d'éditeur vis-à-vis de la partie mathématique du dictionnaire – ne serait-ce que parce que son nom apparaît sur la couverture comme coauteur des trois tomes de l'ouvrage, au même titre que D'Alembert, Bossut et Lalande (ainsi que Charles pour les deux

A. GUILBAUD

dant aussi de l'impératif, instauré par Panckoucke, de complémentarité et d'interdépendance entre les contenus des différents dictionnaires, ainsi que des circonstances particulières attenant au rythme de publication de chaque élément de l'ensemble. Nous verrons que les trois tomes du dictionnaire de *Marine*, dont la publication s'effectue à peu près au même moment que ceux de mathématiques, apportent un éclairage particulièrement enrichissant de ce point de vue.

Au sujet de ma méthode de travail dans la *Méthodique de Mathématiques*, l'absence d'édition interrogeable en « plein-texte » m'a contraint de passer en revue l'ensemble des trois tomes, page par page, afin de repérer les noms d'articles susceptibles d'aborder le problème de la résistance des fluides, la lecture du contenu des éléments sélectionnés me permettant ensuite de trancher. Je me suis bien sûr aidé des désignants, des nombreux renvois internes au dictionnaire, et servi, pour des recoupements, de la nomenclature du corpus d'articles identifiés dans l'*Encyclopédie* (sans oublier les articles que j'en avais exclus) ainsi que du moteur de recherche de *Google Books*²⁶. L'édition électronique du projet ARTFL m'a par ailleurs permis d'identifier un article du *Supplément*, dont je rendrai compte le moment venu. L'ensemble des articles obtenus est présenté dans le tableau consultable en annexe II.

Le plan de mon exposé sera quant à lui calqué sur le précédent afin de faciliter la mise en évidence des changements effectués. Nous traiterons donc d'abord des modifications apportées aux articles FLUIDE et RÉSISTANCE *des fluides* avant de nous pencher sur le cas de la marine, de la balistique et de l'hydraulique. Arrêtons-nous cependant quelques instants sur la question des canaux de navigation et sur le silence plutôt étonnant de Bossut à ce sujet.

À propos des canaux de navigation

Rappelons qu'entre mars 1775 et juillet 1776, Bossut appartient, avec D'Alembert et Condorcet, à la commission de navigation intérieure créée

derniers volumes).

26. Ce dernier permet, par le biais d'un programme de reconnaissance des caractères, d'effectuer des recherches plein texte dans les versions scannées de chacun de trois volumes du dictionnaire de *Mathématiques*.

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

par Turgot, Contrôleur général (sous Louis XVI), afin d'assurer le rôle d'experts techniques dans ce domaine. Il dirige, dans ce cadre, l'ambitieuse campagne d'expériences financée par ce dernier et destinée à évaluer l'influence de la navigation dans un canal étroit et peu profond sur la résistance éprouvée par les navires (en lien avec l'affaire du canal de Picardie, projet de canal souterrain visant à relier la Somme à l'Escaut)²⁷. Ces expériences, réalisées avec une trentaine de modèles réduits de bateaux sur le bassin de l'École militaire entre juillet et septembre 1775 donnent lieu à une importante moisson de résultats scientifiques, parmi lesquels la mise en défaut de la loi newtonienne dans plusieurs cas de figure (résistance oblique et immersion partielle du corps mû, notamment). Bossut en rend compte dans les *Nouvelles expériences sur la résistance des fluides* (1777) et les complète grâce à de nouvelles expériences conduites avec Condorcet dans le courant de l'année 1778 (Bossut, 1781). Il assure, outre cela, l'expertise technique du canal de Berry fin 1775 puis, quelques années plus tard, en tant qu'académicien, l'examen des canaux de Bretagne et du Nivernais avec Rochon, Cousin et Condorcet. Il fait également partie, avec ce dernier, des commissions académiques chargées d'examiner les ouvrages de Lalande (1778), L'Allemand (1779, 1785), de Fer de la Nouerre (1787) ainsi que les théories de Lafitte-Clavé (1783) sur la navigation intérieure²⁸.

Compte tenu des connaissances du savant sur la question des canaux et ses liens avec le problème de la résistance des fluides, il paraissait donc naturel que Bossut aborde le sujet sous un angle théorique dans l'*Encyclopédie méthodique de Mathématiques*, d'autant que le premier prospectus, publié dans le *Mercure de France* du 8 décembre 1781, précise qu'il y sera traité « avec le plus grand soin [de] tous les objets de curiosité ou d'utilité, comme, par exemple [...] les canaux de navigation » (p. 60)²⁹. Si l'*Encyclopédie* ne contenait d'ailleurs qu'un article CANAL ARTIFICIEL (*Enc.* II, 1752, p. 582b-583b) peu instructif sur ce sujet, signé par Diderot, et classé en *Histoire & Architecture*, le *Supplément* faisait état d'une série d'articles conséquents, certes toujours coupés de toute considération

27. Voir (Redondi, 1989), (Guilbaud, 2008) et (Szulman, 2011).

28. D'après (Szulman, 2011, partie 3, chap. 7). Je remercie E. Szulman de m'avoir permis de consulter sa thèse de doctorat (à paraître en 2013 aux Presses Universitaires de Rennes).

29. La promesse apparaît encore dans le prospectus publié dans le tome I du dictionnaire des *Beaux-Arts*, mais disparaît logiquement dans celui inséré en tête du tome III de *Mathématiques*.

A. GUILBAUD

d'ordre théorique, mais classés en *Architecture hydraulique* et donnant un descriptif de quelques uns des grands canaux européens ainsi que de la plupart des principaux projets en cours sur le territoire français (*Supplément II*, p. 168a-184a). C'est donc avec un certain étonnement que j'ai pu constater l'absence d'un article CANAL ou de tout autre élément abordant le sujet dans le dictionnaire de *Mathématiques*.

La réponse à cette énigme pourrait en fait se trouver dans les tomes I (1783) et III (1787) du dictionnaire de *Marine*, qui contiennent respectivement un article CANAL, complété par une sous-entrée CANAL de navigation intérieure, et un article NAVIGATION, suivi d'une sous-entrée NAVIGATION intérieure. Le premier, de taille imposante et signé par Blondeau (coéditeur, avec Vial du Clairbois, du tome I)³⁰, renvoie au *Traité des canaux de navigation* de Lalande (1778) et donne, en espérant être « utile à l'état », un long « Extrait d'un mémoire du sieur Nicolin, ancien maître de dessin aux écoles de l'artillerie & de la marine, sur la navigation intérieure du royaume, principalement par rapport à la marine, & sur les moyens d'étendre cette navigation » (*E.M. Marine I*, 1783, p. 222a-227a). Le second, de même ampleur et signé par Duval-Leroy, cite également Lalande mais s'appuie principalement sur une autre source, le *Mémoire sur la navigation intérieure* de L'Allemand (1785), dont il reproduit, en fin d'article, le « Plan général d'administration de la navigation intérieure » (*E.M. Marine III*, 1793, p. 2a-10a).

Étant donné le peu de temps qui sépare la parution des différents tomes des deux dictionnaires (notamment des deux tomes I), il est probable que leurs éditeurs se soient accordés sur cette répartition (peut-être même avant 1783, date de publication du premier tome de *Marine*), nous privant ainsi d'une présentation des enjeux théoriques sous-jacents à la question de l'expertise technique en matière de canaux navigables³¹. Nous allons voir que

30. Blondeau décède en octobre 1783, soit peu de temps avant la publication du premier tome.

31. Il est possible que le projet de publication d'un nouveau dictionnaire de la *Méthodique* confié à Prony et consacré à la « Science de l'Ingénieur des Ponts & Chaussées, Turcies & Levées, Canaux & Ponts maritimes » ait également influé sur le choix de répartition des connaissances et participe donc à expliquer l'absence d'article sur le sujet dans le dictionnaire de *Mathématiques*. Bien que le nouveau dictionnaire n'ait finalement jamais vu le jour, le prospectus rédigé par Prony et publié dans le tome III de l'*Encyclopédie méthodique* de *Mathématiques* (1789, p. 37a-43b) montre en effet que la question des canaux (de navigation intérieure et d'acheminement de l'eau) devait y être traitée. Prony précise

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

l'article *RÉSISTANCE des fluides* ne pallie que partiellement cette lacune.

Les articles *FLUIDE* et *RÉSISTANCE des fluides*

Qu'est-il advenu des deux articles théoriques centraux de l'*Encyclopédie* concernant la résistance des fluides ? La table de lecture (publiée à la fin du tome III) qui classe, selon les vœux de Panckoucke, les principaux articles selon l'ordre dans lequel ils doivent être lus afin de transformer le dictionnaire en traité, ordonne les sciences mathématiques en dix parties. Les cinq premières relèvent des mathématiques « pures », les cinq autres des mathématiques « mixtes » : parmi elles, l'« hydrodynamique », décrite par le biais de onze articles dont *FLUIDE* et *RÉSISTANCE des fluides*³².

L'article *FLUIDE* ne présente guère d'intérêt, en ce qu'il constitue une copie à l'identique de l'article de D'Alembert dans l'*Encyclopédie*³³. Il n'en est pas de même, en revanche, de l'article *RÉSISTANCE des fluides* qui, s'il reprend aussi intégralement la contribution de D'Alembert, se trouve complété par un long ajout dont la signature * laisse raisonnablement penser qu'il est de Charles. Voyons quelle en est la teneur.

La première partie se propose de faire état de « la théorie qu'on suit ordinairement pour la mesure de la résistance ou de la percussion », c'est-à-dire la théorie newtonienne fondée sur l'assimilation du phénomène de résistance aux impulsions exercées, contre la surface du corps solide immergé, par l'« infinité de filets parallèles » supposés composer le fluide

d'ailleurs que l'ouvrage devait principalement renvoyer, pour ce qui touche à l'hydrodynamique, à la « nouvelle édition de l'Ouvrage de M. l'Abbé Bossut », à savoir son *Traité théorique et expérimental d'hydrodynamique* en deux volumes (Bossut, 1786-1787). Notons cependant que cette hypothèse paraît nettement moins probable, compte tenu du fait que ce projet de dictionnaire dédié à la « Science de l'Ingénieur » date apparemment de la fin des années 1780 – ni le prospectus du *Mercur de France* du 8 décembre 1781 ni celui publié en en-tête du tome I du dictionnaire des *Beaux-Arts* de 1788 n'en mentionnent effectivement l'existence.

32. En voici la liste complète : « Fluide / Spécifique / Hydrostatique / Hydrodynamique / Hydraulique ; & de suite machines hydrauliques / Contraction de la veine fluide / Résistances des fluides / Aubes / Air / Ecoulement / Pompe ». *FLUIDE* et *RÉSISTANCE des fluides* mis à part, seul l'article *AUBE* fait état de la question de la résistance.

33. Les modifications très ponctuelles et limitées que j'ai été en mesure d'identifier ne m'ont pas paru suffisamment intéressantes pour être relevées. Notons juste que le renvoi à l'article *FLUIDITÉ* est à présent suivi du complément suivant : « qui appartient au dictionnaire de physique ».

A. GUILBAUD

« sans se gêner les uns les autres »³⁴. Charles, dès cette annonce, précise néanmoins que la loi qui en découle, c'est-à-dire la loi ordinaire (proportionnalité de la résistance à la densité, à la surface et aux carrés de la vitesse et du sinus de l'angle d'incidence), « mène en certains cas à des résultats trop éloignés de la vérité pour être admissibles ». Pourquoi, dès lors, avoir fait le choix de l'exposer, « malgré ses imperfections » ? Pour deux motifs :

« l'un est de faciliter à nos lecteurs l'intelligence de plusieurs ouvrages sur l'Architecture navale, auxquels elle sert de fondement ; l'autre est qu'elle peut être employée, sans craindre beaucoup d'erreur, dans le calcul des machines mues, à l'aide des roues, par des courans d'eau ou d'air » (*E.M. Math.* II, 1787, p. 763a).

La théorie newtonienne du choc ou de l'impulsion n'est donc présentée qu'en raison de son utilité théorique relativement aux domaines de l'architecture navale, ainsi que des machines hydrauliques (roues à aubes) et à vent (ailes des moulins). Charles en rend compte de façon détaillée, en commençant par établir la loi ordinaire de résistance puis en donnant un exemple d'application basé sur le calcul intégral et l'utilisation de résultats expérimentaux issus *De la manœuvre des vaisseaux* de Bouguer (1757). L'essentiel de son exposé, précise-t-il, est tiré de l'hydrodynamique de Bossut, c'est-à-dire des deux tomes du *Traité théorique et expérimental d'hydrodynamique* que ce dernier publie en 1786 et 1787³⁵ et qui rassemblent le contenu de son *Traité élémentaire d'hydrodynamique* de 1771, de sa version augmentée de 1775, ainsi que de ses *Nouvelles expériences sur la résistance des fluides* de 1777.

La seconde partie de l'ajout vise dès lors à expliciter en quel cas la loi newtonienne de résistance peut « être admise ou doit être absolument rejetée ». Elle synthétise, pour ce faire, le résultat des expériences menées par Bossut en 1775 et 1778. Ces dernières, est-il précisé, sont peut-être « les

34. En réalité, Newton assimile le fluide à une infinité de sphères dures choquant, indépendamment les unes des autres, la surface du corps immergé – ce qui ne change rien à la loi théorique obtenue. La mention de filets parallèles dans l'article résulte du processus de construction de l'hydrodynamique mené par Daniel Bernoulli, Jean Bernoulli, D'Alembert et Euler des années 1730 jusqu'au début des années 1750 et dont on sait qu'il permet de substituer une représentation de l'écoulement sous forme de lignes de courant à la conception atomiste de Newton : voir (Calero, 2008). Le fait de supposer que les filets « ne se gênent pas les uns les autres » reviendrait, en termes modernes, à faire l'hypothèse (implicite au XVIII^e siècle) d'un fluide parfait (c'est-à-dire sans viscosité).

35. Ce que nous avons pu vérifier : les extraits concernés de l'article sont issus du tome I, chapitre XIII.

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

meilleures que nous ayons », parce qu'elles conduisent à une nouvelle loi empirique suppléant certes « passablement » à la loi ordinaire pour une proue (de navire) composée de deux surfaces planes, mais n'en prouvant pas moins que celle-ci doit être définitivement rejetée dans ce cas de figure. Bossut, nous explique-t-on, n'a cependant pas eu le même succès pour les proues curvilignes, signe qu'« on ne parviendra peut-être jamais à représenter la résistance sur les surfaces courbes avec quelque exactitude par une formule qui ait la simplicité nécessaire pour être de quelque usage dans la pratique » : conclusion pessimiste, mais résumant en peu de mots la principale difficulté s'opposant à l'application de la théorie à la pratique.

C'est sur un autre problème concret que se termine par ailleurs l'article RÉSISTANCE *des fluides*, celui de « l'action des rames pour mouvoir les bateaux ». Après avoir pris soin de citer les mémoires de Daniel Bernoulli (1769) et d'Euler (1749b) sur le sujet, Charles reproduit l'article XIX du mémoire 4 des *Opuscules mathématiques* de D'Alembert (t. I, 1761)³⁶, dans lequel ce dernier expose synthétiquement sa méthode de mise en équation du problème dans l'hypothèse d'une loi de résistance proportionnelle au carré de la vitesse du fluide. Cet ajout pallie la promesse non tenue, faite par D'Alembert dans l'article GOUVERNAIL de l'*Encyclopédie*, d'un complément sur la question. Le choix de l'insérer à la fin de l'article RÉSISTANCE *des fluides* de la *Méthodique de Mathématiques* n'en reste pas moins assez mystérieux³⁷.

Le contenu de l'ajout de Charles porte donc quasi exclusivement sur la question de l'application de la théorie dans le domaine de la marine, et dans ce cadre, sur le problème concret de la résistance s'exerçant sur la proue d'un navire en mouvement. L'insertion d'un tel complément à la fin du tome II du dictionnaire de *Mathématiques* pourrait avoir vocation à combler l'absence, dans l'*Encyclopédie*, d'éléments théoriques sur l'architecture navale, ou à pallier le choix de ne pas avoir abordé en propre la question des canaux de navigation intérieure : nous verrons plus loin que l'explication tient plus probablement à l'articulation du contenu de ce dictionnaire avec celui de *Marine*.

Quoi qu'il en soit, la démarche développée dans l'ajout tranche avec celle, largement déconnectée des enjeux pratiques, de D'Alembert dans les

36. Voir (D'Alembert, 1761) et (D'Alembert, 2008).

37. De façon cohérente, l'article RAME se voit restreint à un unique renvoi.

A. GUILBAUD

articles FLUIDE et RÉSISTANCE *des fluides* de l'*Encyclopédie*, que ce soit du point de vue du style (mécanique et analytique chez Charles / aucune équation chez D'Alembert) ou de sa finalité : faire état des éléments théoriques utiles dans le domaine des applications, tout en précisant les limites. Cette évolution témoigne apparemment d'une conception différente du statut de la théorie, mais dont il paraît raisonnable de penser qu'elle tient, au moins en partie, aux progrès accomplis dans le domaine expérimental depuis le milieu du XVIII^e siècle. D'Alembert, rappelons-nous, plaidait en effet en ce sens dans l'*Encyclopédie*, en se plaignant de s'être retrouvé confronté à des expériences « si peu d'accord entre elles » (Enc. VI, FLUIDE, 1756, p. 890a) qu'il lui avait été impossible d'y comparer le résultat des travaux développés dans son *ERF* (1752). Il semble d'ailleurs, comme le note P. Crépel (1996, p. 329), qu'il ait lui-même longtemps encouragé son plus proche disciple, Bossut, à œuvrer dans cette voie.

L'étude du contenu de l'article RÉSISTANCE *des fluides* appelle deux autres remarques. La première concerne plus généralement l'absence constatée, dans le dictionnaire, d'un exposé des recherches analytiques de D'Alembert, Euler, et Lagrange, qu'il s'agisse des EDP gouvernant le mouvement d'un fluide établies par les deux premiers entre 1745 et 1755, des tentatives (infructueuses) de résolution menées par les trois savants, ou des recherches concernant le célèbre paradoxe énoncé par D'Alembert dans le tome V de ses *Opuscules mathématiques* (1768, p. 132-138). Dans l'article ECOULEMENT, qui n'existait ni dans l'*Encyclopédie* ni dans le *Supplément* (et qui n'aborde pas le sujet de la résistance), Bossut livre bien un exposé aussi complet que mathématique de la méthode unidimensionnelle de mise en équation des écoulements développée par Daniel Bernoulli, Jean Bernoulli et D'Alembert entre 1738 et 1744, mais se contente en outre de préciser que « M. D'Alembert & M. Euler ont donné d'autres méthodes théoriques, plus rigoureuses, mais aussi plus compliquées que les précédentes », avant de renvoyer, pour plus de détails, aux « OPUSCULES de M. d'Alembert, & une multitude de Mémoires de M. Euler, répandus parmi ceux des Académies de Berlin & de Petersbourg » (*E.M. Math.* I, 1784, p. 610b). Quant à Charles, il se livre, dans le nouvel article THÉORIE, à une attaque en règle contre l'application, parfois vaine et ridicule, qui a pu être faite de la « géométrie transcendante » dans les « sciences mixtes ». « On pourroit citer », précise-t-il :

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

« des Géomètres d'un vrai mérite, qui ne sont pas absolument irréprochables à ce sujet. Un des plus grands de ce siècle a fait plusieurs ouvrages qui ont pour objet une certaine science physico-mathématique. Je ne nommerai ni le Géomètre ni la science, pour ne pas faire crier à l'hérésie ; mais, en vérité, le lecteur, s'il m'a deviné, conviendra qu'après avoir lu [...] ces ouvrages, on n'a guères plus de connoissances sur la science en question qu'avant les avoir lus » (*E.M. Math.* III, 1789, p. 128b).

Qu'il soit ou non question ici de l'hydrodynamique et de la théorie purement analytique que D'Alembert développe dans ses *Réflexions sur la cause générale des vents* (1747) et son *ERF* (1752)³⁸, l'impasse du dictionnaire de *Mathématiques* sur ces travaux comme ceux d'Euler et de Lagrange semble donc être un choix parfaitement assumé. Elle constitue par là même, un argument supplémentaire en faveur de l'idée qu'une claire orientation guide celui des théories mathématiques présentées : les équations unidimensionnelles, résolubles par le moyen du calcul intégral, et donc potentiellement utiles dans la pratique, sont préférées à des EDP certes très générales mais inutiles en terme d'application (car résistant, entre autres, à toute méthode de résolution analytique).

Sur ce point, notons toutefois que l'acquéreur de l'*Encyclopédie méthodique de Marine* ne sera pas en manque dans ce domaine, puisqu'il y trouvera, à l'article FLUIDE. *Mouvement des*, de Duval-Leroy, une présentation complète et détaillée de la méthode de mise en équation analytique d'Euler, telle qu'exposée par ce dernier dans son mémoire de 1755 (Euler, 1757)³⁹. Nous aurons l'occasion d'y revenir.

Ma seconde remarque veut pointer l'absence, dans l'article RÉSISTANCE *des fluides*, de toute référence aux travaux d'un autre personnage incontournable dans ce domaine au cours des années 1760 et 1770, Jean-Charles Borda, ingénieur et académicien, dont les recherches théoriques et la démarche en la matière se rapprochent probablement le plus de celles de Bossut à cette époque. Il est en particulier l'auteur d'une série d'expériences dont il rend compte dans deux mémoires publiés en 1766 et 1770 et qui té-

38. Les mots de Charles paraissent proches de ceux employés par Daniel Bernoulli, dans sa lettre à Euler du 26 janvier 1750, à propos des *Réflexions sur la cause générale des vents* de D'Alembert : « Seine pièce sur les vents will nichts sagen und wenn Einer alles gelesen, so weiss er so viel von den ventis, als vorher [sic]. » (Fuss, 1843, lettre XVI, p. 650).

39. Il s'agit, à ma connaissance, de la première présentation imprimée, en France, de l'approche eulérienne pour la mise en équation analytique de l'écoulement d'un fluide compressible parfait.

A. GUILBAUD

moignent non seulement, comme chez son confrère, d'une rare conjugaison de connaissances théoriques et de talents d'expérimentateur, mais apportent également confirmation, plusieurs années avant les travaux de Bossut, de la mise en défaut expérimentale de la loi newtonienne dans plusieurs cas de figure, que ce soit pour l'eau ou pour l'air.

Il faut dire que Borda fait partie des ennemis de Bossut et, plus largement, du cercle que ce dernier forme avec D'Alembert et Condorcet. L'inimitié entre les quatre hommes remonte à la fin des années 1760 et se traduit, dans le courant des années 1770, par nombre de querelles scientifiques et académiques⁴⁰. Il faut également préciser que le très probable auteur de l'article, Charles, est le protégé de Bossut, auquel il succèdera en 1786 à la tête de la chaire d'hydraulique⁴¹, ce qui permettrait au moins en partie d'expliquer les raisons d'un tel mimétisme entre le contenu de l'ajout à l'article *RÉSISTANCE des fluides* et la teneur des récentes recherches de Bossut sur la résistance des fluides⁴².

Si les résultats des expériences de Bossut de 1775 et 1778 peuvent effectivement être considérés parmi les plus en pointe sur le sujet dans le courant des années 1780⁴³, il n'en reste pas moins que l'article passe ainsi sous silence plusieurs travaux récents et importants : par exemple les *Principes d'hydraulique* de Du Buat (1779), autre grand expérimentateur français de la période concernant la question de la résistance des fluides. Nous consta-

40. Telle que la polémique scientifique qui oppose Borda à D'Alembert à propos de la conservation des forces vives ou la querelle qui a lieu à l'occasion de la présentation par Bossut devant l'Académie royale des sciences, en 1771, de son *Traité élémentaire d'hydrodynamique*. Voir (Crépel, 1996), (Guilbaud, 2007) et (Guilbaud, 2008).

41. D'après (Lemonnier, 1926, p. 177-178), (Gough, 1979) et (Hahn, 1981). La chaire d'hydraulique est créée par Turgot en octobre 1775, sur une suggestion de Condorcet, et confiée à Bossut : voir (Hahn, 1964a).

42. Bossut avait donné un compte rendu aussi élogieux que détaillé des deux mémoires de Borda (1767, 1770) dans son *Traité élémentaire d'hydrodynamique* (1771, t. II, p. 329-333), en avait fait mention de façon plus synthétique mais tout aussi louangeuse dans le discours préliminaire aux *Nouvelles expériences sur la résistance des fluides* (1777), pour finalement s'abstenir d'en évoquer l'existence dans son *Traité théorique et expérimental d'hydrodynamique* (t. I, 1786, p. 7).

Précisons néanmoins que nous ne possédons aucun document concernant les échanges qui ont pu avoir lieu entre Bossut, Charles et Condorcet au sujet du contenu du dictionnaire de *Mathématiques*.

43. Ils ont aussitôt suscité l'intérêt d'Euler, ainsi qu'en témoigne son « Essai d'une théorie de la résistance qu'éprouve la proue d'un vaisseau dans son mouvement », lu à l'Académie le 24 février 1781 (Euler, 1781).

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

terons bientôt qu'il ne s'agit aucunement d'un cas isolé, et que la majeure partie des articles abordant la question de la résistance des fluides dans le dictionnaire de *Mathématiques* se fondent en fait, quel que soit leur auteur, sur la même et unique source, l'œuvre de Bossut, au détriment de beaucoup d'autres travaux importants à cette époque, dont ceux de Borda.

Les articles de marine

De même que dans l'*Encyclopédie*, la liste des articles de la *Méthodique de Mathématiques* abordant la question de la résistance des fluides sous l'angle de ses applications dans le domaine de la marine s'avère des plus réduite. Nous venons de constater que l'article *RÉSISTANCE des fluides* traite de la loi newtonienne et de ses limites relativement au problème de la résistance s'exerçant sur la proue des navires, ainsi que de la question de l'action des rames : force est de constater que nous ne sommes pas parvenus à en trouver d'autres dans les trois tomes du dictionnaire.

Le seul article abordant le sujet de la résistance dans l'*Encyclopédie*, l'article *GOUVERNAIL*, ne l'aborde plus explicitement dans le dictionnaire de *Mathématiques*. La partie initialement rédigée et signée par D'Alembert y a été réduite de moitié environ. On observe notamment la disparition des promesses de l'encyclopédiste concernant l'article *RAME* (de façon cohérente avec l'ajout fait à l'article *RÉSISTANCE des fluides* dans le dictionnaire) ainsi que de ses commentaires sur la difficulté théorique d'un problème dont il notait qu'il est un « des plus délicats de la Dynamique, & que peut-être il n'a été résolu jusqu'ici qu'assez imparfaitement, quoique suffisamment pour l'usage de la Marine » (*Enc.* VII, 1757, *GOUVERNAIL*, p. 783a). Probable auteur de ces modifications, Charles supprime le tout et se contente laconiquement de préciser que « M. l'Abbé Bossut a donné la solution générale [du problème], dans sa pièce sur la théorie & les pratiques de l'arrimage des vaisseaux, qui partagea le prix de l'académie en 1765 » (*E.M. Math.* II, 1787, p. 148b). Quant à « la description et la manœuvre du gouvernail », qui formaient le sujet de la partie de l'article signée par Bellin dans l'*Encyclopédie*, elles « appartiennent » désormais « au Dictionnaire de marine » car, nous explique-t-on, il sera seulement traité, dans celui de mathématiques, « de l'action du gouvernail, en tant qu'elle forme un problème de Mécanique » (*E.M. Math.* II, 1787, p. 148a).

A. GUILBAUD

Il est, de fait, probable que le maigre contenu de l'*Encyclopédie* dans le domaine de la marine, qu'il s'agisse des rares articles théoriques de D'Alembert ou de la contribution de Bellin, durement critiquée dans le prospectus de l'*Encyclopédie méthodique de Marine*⁴⁴, ait découragé Charles et Bossut de tenter d'en combler les lacunes – d'autant que ce dernier a très peu travaillé sur le sujet⁴⁵. Rien d'étonnant donc à ce que le versant « mathématique » de l'application de la résistance des fluides à ce domaine y soit toujours aussi pauvrement traité. Précisons d'ailleurs que, d'après le sondage que j'ai réalisé sur l'ensemble des trois tomes du dictionnaire de *Mathématiques*, le silence vaut également pour les questions de l'architecture navale et de la manœuvre des vaisseaux dans leur entier, confirmant ainsi le désintérêt général de l'ouvrage pour ce qu'il est alors devenu coutume d'appeler la « science de la marine ».

Contrairement à ce que laisse entendre l'article GOUVERNAIL, il n'en est cependant pas de même des trois tomes de l'*Encyclopédie méthodique de Marine* (1783, 1786, 1787) édités par Vial du Clairbois, ingénieur-constructeur, et Blondeau, professeur de mathématiques et d'hydrographie dans les écoles de Marine. Leur examen apporte même un éclairage tout à fait intéressant sur le (maigre) contenu du dictionnaire de *Mathématiques* à ce sujet.

Le dictionnaire de *Mathématiques* versus celui de *Marine*

La rubrique dédiée au dictionnaire de *Marine* du prospectus du 8 décembre 1781 précise que « quoique toutes les parties de la Marine soient fondées sur les Mathématiques, l'Astronomie, la Physique, &c., nous n'entrerons dans aucun détail scientifique sur ces objets, notre ouvrage faisant corps avec l'*Encyclopédie [méthodique]*, où toutes ces parties seront traitées chacune en particulier » (*Mercur de France*, 8 décembre 1781, p. 135). C'est ce que confirme en outre la lecture du « Tableau analytique ou système encyclopédique de Marine » (*E.M. Marine* I, 1783, p. ix), de même

44. La rubrique du prospectus de 1781 dédié au dictionnaire de *Marine* précise : « les premiers Editeurs de l'*Encyclopédie* ont été si mal servis pour l'objet de la Marine, que nous doutons d'y pouvoir trouver beaucoup d'articles à conserver » (*Mercur de France*, 8 décembre 1781, p. 133-134).

45. Son mémoire primé de 1765 est le seul qu'on connaisse de lui sur ce sujet : voir la « Notice des principaux ouvrages de Charles Bossut » ([Anonyme], 1809, p. 419-426).

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

que l'article CONSTRUCTION (*la science de l'ingénieur-constructeur*), publié dans le tome I, et dans lequel Vial du Clairbois nous informe que « les principes de cette science se trouvent dans les Dictionnaires de Mathématiques et de Physique » (*E.M. Marine* I, 1783, p. 554b).

La consultation de la nouvelle version du prospectus, publiée en tête du troisième tome du dictionnaire de *Mathématiques* (en 1789, deux ans après la parution du troisième tome de *Marine*) donne, là dessus, l'impression d'un véritable virage à 180° :

« A l'égard de l'Architecture navale, des extraits choisis & travaillés avec soin, tirés des Ouvrages de M. Bouguer, pour la théorie ; de M. Duhamel, pour la pratique, & de quelques autres Auteurs, sont répandus chacun à leur place [...]. Il a paru une traduction de l'Examen maritime de Don George Juan [...] qui contient des choses tout-à-fait neuves. M. D. L. R. a fourni d'excellens morceaux, travaillés d'après les idées de cet Officier espagnol [...] et d'excellens articles d'Astronomie nautique » (*E.M. Math.* III, 1789, p. 34a).

Le mystérieux « M. D. L. R. » cité dans le prospectus de 1789 n'est autre que Duval-Leroy : il signe déjà quelques articles à partir de la fin du tome I, mais tous sont de nature descriptive, et concernent l'astronomie nautique⁴⁶.

Son entrée en scène tient, au moins pour partie, à la mort de Blondeau peu de temps avant la parution du tome I, ainsi que le suggère l'« Avertissement de l'éditeur », placé en en-tête de la seconde édition (parue en 1793) du premier volume du dictionnaire⁴⁷ :

« M. Blondeau qui s'étoit chargé de l'édition de cette Encyclopédie de Marine, conjointement avec M. Vial du Clairbois, est mort lors de la publication du 1^{er} vol., & cet Ingénieur en est demeuré le seul Editeur. [...] Il faut convenir qu'il se seroit trouvé peu de choses neuves sur [l'Hydrographie], que M. V. D. C. avoit perdu de vue depuis nombre d'années, si M. du Val le Roi [...] ne s'étoit offert à lui fournir une quantité de morceaux intéressans ; il ne s'est pas borné à la science Hydrographique, à l'Astronomie Nautique : il s'est étendu sur des objets transcendans, concernant la construction & les mouvemens du vaisseau. On peut dire que ses articles, tous marqués d'un Y, forment une partie précieuse de l'Ouvrage. »

46. Le premier article portant sa signature (Y) se situe dans le dernier septième du tome I. Il s'agit de l'article CORRECTION *des routes*. Les suivants (toujours pour le seul tome I) sont : COURANT, CRÉPUSCULE, CYCLE LUNAIRE, CYCLE SOLAIRE, DÉCLINAISON DES ASTRES, DEGRÉ DE LA TERRE et DÉPRESSION de l'*horizon*.

47. Les deux autres tomes de la seconde édition du dictionnaire sont publiés la même année. A l'exception de l'« Avertissement de l'éditeur », nous n'avons constaté aucune différence avec les trois tomes de la première édition pour ce qui est du contenu (ainsi que de la pagination) des articles que nous avons consultés.

A. GUILBAUD

L'arrivée de Duval-Leroy n'est donc clairement pas étrangère à ce revirement. L'étude des articles du dictionnaire consacrés à l'architecture navale et la manœuvre des vaisseaux, dont nous donnerons ici un premier aperçu, montre en effet que tout se passe comme si la politique des éditeurs avait totalement changé, entre le premier volume et les deux suivants. concernant la place à donner à la théorie de ces deux domaines.

Les principaux articles du tome I, notamment l'imposant CONSTRUCTION (de plus de cent pages !) ainsi que les non moins fournis ARRIMAGE, CARÈNE, CAPACITÉ, CENTRE DE GRAVITÉ et DÉPLACEMENT *de vaisseaux*, sont l'œuvre de Vial du Clairbois⁴⁸, qui s'appuie non seulement sur les *Elémens de l'architecture navale* de Duhamel du Monceau (1752), mais aussi, et surtout, sur l'*Architectura navalis mercatoria* de l'ingénieur-constructeur suédois Frédéric-Henri Chapman (1771)⁴⁹ – dont il avait lui-même fait paraître une traduction française annotée en 1781. Les articles exposent de façon très détaillée les principes de l'« art du charpentier » et de l'« art du constructeur de vaisseau », ainsi que ceux, plus théoriques de la « science de l'ingénieur-constructeur ». Ils ne rentrent, de fait, dans aucun détail sur le versant purement « mathématique » ou « physique » du problème de la résistance des fluides, mais contiennent en revanche plusieurs réflexions intéressantes, dont un constat tranché, et parfaitement conforme à celui dressé dans l'article RÉSISTANCE *des fluides* du dictionnaire de *Mathématiques*, concernant l'utilité de la loi newtonienne et sa conformité à l'expérience dans le domaine de l'architecture navale :

« Les résistances au choc oblique ne diminuent pas, dans la raison des carrés des sinus des angles d'incidence : quelle est la loi de cette diminution ? on l'ignore. Ainsi voilà l'ancienne théorie de la résistance des fluides presque entièrement sappée dans son fondement. Le seul parti que nous ayons à prendre, dans notre disette de principe, c'est d'employer la théorie lorsqu'elle peut nous conduire, & ensuite nous abandonner aux règles que l'expérience a établies » (*E.M. Marine* I, 1783, CARÈNE, p. 268b).

Dans les tomes II et III, en revanche, Duval-Leroy signe plusieurs contributions d'une grande étendue et de nature exclusivement théorique : ses articles FLUIDE, FORCES *du vent sur les voiles*, GOUVERNAIL, RAMES, ROULIS & *tangage* et VAISSEAU, *considéré spéculativement*, forment l'é-

48. Vial du Clairbois ne signe pas les articles CARÈNE et DÉPLACEMENT *de vaisseaux*, mais s'y signale néanmoins comme l'auteur de la traduction du traité de Chapman (1781).

49. Voir (Ferreiro, 2007, p. 275-278).

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

quivalent d'un petit traité physico-mathématique en la matière, démontrant une excellente maîtrise des principes de la mécanique (des solides, comme des fluides) ainsi que du calcul différentiel et intégral de fonctions de plusieurs variables.

J'avais précédemment eu l'occasion de signaler que l'entrée *Mouvement* de l'article FLUIDE contient l'exposé de la méthode d'établissement des équations aux différences partielles données par Euler en 1755. A l'exception de l'entrée *Equilibre* du même article, le reste repose sur la théorie de la résistance des fluides exposée dans l'*Examen maritime* de Jorge Juan y Santacilia (1771)⁵⁰, traduite par Pierre Levêque en 1783, et dont Duval-Leroy explique que, contrairement à la théorie ordinaire de la résistance des fluides, dont « l'expérience a pleinement démontré le défaut de légitimité », elle a été « confirmée d'abord par nombres d'expériences particulières », puis par « des déterminations de la marche & des autres mouvemens du vaisseau, conformes à ce qu'on observe tous les jours » : « des avantages aussi marqués », conclut-il, « nous ont conduit à penser qu'on doit lui donner la préférence sur l'ancienne » (*E.M. Marine* II, 1786, p. 340b-341a). En tout état de cause, son article GOUVERNAIL repose donc sur une théorie et, partant, sur une loi de résistance différente de celle, newtonienne, dont Bossut fait usage dans son mémoire primé de 1765. . .

Vial du Clairbois n'est pas non plus en reste vis-à-vis de ce changement de politique. Il n'y a, pour s'en convaincre, qu'à ouvrir le dictionnaire à l'article STABILITÉ, colossal état des lieux sur les théories de la manœuvre des vaisseaux et de l'architecture navale fondé, presque à contre-cœur, sur le *Traité du navire* de Bouguer (1746) :

« Nous examinerons donc avec M. Bouguer les loix que les fluides observent dans leur choc [. . .]. Nous n'avons pas dissimulé ce que nous pensons sur cette matière. Cependant nous ne croyons pas pouvoir nous dispenser de faire connoître comme elle a été traitée par un célèbre géomètre dont les erreurs mêmes peuvent nous éclairer. Don Georges Juan a traité depuis ce sujet, peut-être avec plus de succès, parce qu'il est venu après : c'est d'après son ouvrage qu'a été travaillé l'article fluides (résistance des) auquel il est bon d'avoir recours : cela fera connoître la marche des habiles géomètres qui s'occupent de cette question difficile » (*E.M. Marine* III, 1787, STABILITÉ, p. 688a).

Si l'on rappelle que Duval-Leroy est déjà l'auteur de plusieurs articles dans le tome I, ce net changement de cap dans les deux suivants pourrait

50. Voir (Ferreiro, 2007, p. 272-275).

A. GUILBAUD

également, me semble-t-il, avoir partie liée avec une modification, postérieure à 1783, du partage des tâches entre le dictionnaire de *Marine* et celui de *Mathématiques*, ou, compte tenu de l'absence dans ce dernier de tout renvoi explicite à son voisin de rayonnement, avec le besoin éprouvé par Vial du Clairbois, Duval-Leroy, voire même Panckoucke, de prendre en charge ce que le premier tome de mathématiques, publié en 1784 (soit deux ans avant la publication du deuxième tome de marine) aurait (unilatéralement ?) choisi de délaissier.

Last but not least, ce revirement permet au dictionnaire de *Marine* de donner un aperçu complet de tous les types de savoir, tant théoriques que pratiques, mobilisés par la question de l'architecture navale : celui des charpentiers, des constructeurs, des ingénieurs-constructeurs et des savants. Les quelques éléments que je viens de rapporter montrent par ailleurs que le problème de la résistance des fluides occupe une place centrale dans la façon dont les parties revenant à ces deux derniers types d'acteurs sont traitées, surtout si l'on prend la peine de suivre l'étude complète que Vial du Clairbois entame dans l'article CONSTRUCTION (science de l'ingénieur-constructeur) et termine dans l'article STABILITÉ à propos de « la différence considérable » qu'il y a entre le système de construction, « qui paroît être anglois », qu'a adopté Chapman dans l'*Architectura navalis mercatoria* (1771), « & notre système de construction françois ». « Nous avons », poursuit-il :

« donné atteinte à celui-là [celui de Chapman] dans une de nos notes sur le Traité de construction de cet habile ingénieur [...] parce qu'il le fonde sur une expression analytique où il manque un terme ; mais il a appelé l'expérience à son secours ; nous, nous avons soumis au calcul les mêmes corps de figure rectiligne qu'il avoit mis en expérience [...] ; le résultat est favorable à son système, la matière mérite d'être approfondie ; c'est ici [...] le lieu de la discuter dans tout le détail nécessaire pour connoître la vérité ; ainsi, quittant les figures rectilignes & de petites dimensions, examinons la chose d'après les bâtimens mêmes » (*E.M. Marine* I, 1783, p. 555a).

Le contraste saisissant qui se dégage de cette comparaison entre le statut de la théorie de la résistance des fluides dans le dictionnaire de marine et dans celui de mathématiques donne donc, pour ce que nous avons pu en voir, une première image assez caricaturale de ce dernier : celle d'un ouvrage bornant son exposé aux « mathématiques » et aux expériences des savants (celles de Bossut, en l'occurrence), au détriment des nombreuses recherches appliquées, mais non moins physico-mathématiques conduites,

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

au même moment, et sur le même sujet, par des ingénieurs de plusieurs pays d'Europe, tels que Jorge Juan et Chapman. Leurs ouvrages sont traduits en français, commentés, corrigés et critiqués par deux membres de l'Académie royale de Marine, Vial du Clairbois et Duval-Leroy, sans que le dictionnaire de *Mathématiques* ne se donne la peine de le mentionner. Nous allons voir, que, de façons différentes, les articles abordant la résistance des fluides sous l'angle de la balistique et de l'hydraulique tendent à confirmer cette première impression.

Les articles de balistique

Contrairement à celui de *Marine*, les trois premiers tomes du dictionnaire d'*Art militaire* de l'*Encyclopédie méthodique*, publiés en 1784, 1785 et 1787 sous l'égide de Louis-Felix de Keralio, major d'infanterie et frère d'Auguste de Keralio (intime de D'Alembert et de Condorcet), ne contiennent aucun article de nature théorique, encore moins de considérations relatives au problème de la résistance des fluides. Elles n'abordent pas même le domaine de l'artillerie : le volume qui lui est consacré paraîtra seulement en 1822 (après un quatrième volume de *Supplément* au dictionnaire, publié en 1797), soit plus de trente ans après le troisième tome du dictionnaire de *Mathématiques*⁵¹. En attendant, l'article BALLISTIQUE du tome I se réduit à deux lignes : l'une en donne la définition, « science de la projection des corps pesans », l'autre renvoie aux dictionnaires de *Mathématiques* et d'*Artillerie*.

Sur les trois articles de l'*Encyclopédie* qui abordaient la question de la résistance des fluides relativement à ce champ d'application, deux n'en font plus état dans le dictionnaire de *Mathématiques*. Dans l'article PROJECTILE, qui correspond à une version tronquée aux deux tiers de l'article de D'Alembert dans l'*Encyclopédie* (déjà largement inspiré de Chambers), Charles supprime tous les commentaires de son aîné concernant l'influence sous-estimée de la résistance, y compris sa mention du mémoire d'Euler de 1753 (Euler, 1755). Quant à l'article JET (*Art militaire*) de Le Blond, nous

51. Voir (Belissa, 2006). Le dictionnaire d'*Artillerie*, publié en 1822 sous la direction du colonel H. Cotty, contient en particulier un article TRAJECTOIRE (p. 464b-471b) assez complet sur les progrès de la balistique théorique et appliquée, rédigé par François-Joseph Servois. Voir aussi (Didion, 1848, p. v-vi et p. 145-195).

A. GUILBAUD

ne serons pas surpris de le voir totalement disparaître : fondé, sur l'hypothèse explicite (et assumée) d'un milieu non résistant, il ne pouvait raisonnablement sortir indemne du travail de recomposition dont témoignent les articles BALISTIQUE et JET *des bombes*.

Très légèrement modifié par Bossut, le premier, BALISTIQUE, reprend la quasi intégralité du texte initial de D'Alembert et se contente seulement de signaler que les *New Principles of Gunnery* de Robins (1742) ont fait l'objet d'« excellentes remarques » d'Euler et que « le tout a été traduit & publié en François, cette année 1783, par M. Lombard » (*E.M. Math. I*, 1784, p. 211b)⁵².

La surprise vient plutôt de JET *des bombes* qui, long de deux-trois lignes seulement, et jouant essentiellement le rôle de passerelle entre les articles de D'Alembert et celui de Le Blond dans l'*Encyclopédie*, prend ici plus d'ampleur, comme pour pallier la réduction de l'article PROJECTILE et la suppression de l'article JET (*Art militaire*). Signé par Charles, il se divise en deux parties. La première récapitule les principales propriétés mathématiques de la trajectoire (parabolique) d'une bombe « si l'air étoit sans résistance ». La seconde précise que « la pratique ne s'accorde nullement » avec cette dernière et qu'il faut donc tenir compte de la résistance » ; malheureusement, explique Charles :

« La détermination du mouvement devient alors très-difficile, & les calculs sont si compliqués, qu'ils ne sauroient trouver place dans ce Dictionnaire. Ceux qui desiroient connoître ce qui a été fait de mieux sur cet objet, pourront consulter l'ouvrage de [...] Robins [...] commenté par Euler. Il résulte de [leur] travail [...] qu'entre plusieurs circonstances, deux particulièrement rendent ce problème presque insoluble. La première, c'est que la loi de la résistance des fluides est très-peu connue, quand le choc se fait obliquement ; la seconde, c'est que l'air étant un fluide compressible, il se condense devant la bombe, sur-tout quand la vitesse est considérable » (*E.M. Math. II*, 1787, p. 258b).

Si le travail de recomposition effectué permet de fournir un état des lieux cohérent et somme toute clairvoyant des deux principales difficultés auxquelles la théorie de la balistique se trouve confrontée suite à l'important ouvrage de Robins, il est cependant étonnant que Charles et Bossut aient choisi de passer sous silence les nombreux travaux mathématiques

52. La version allemande commentée (et critiquée) qu'en donne Euler dès 1745 n'est effectivement publiée que très tardivement en français (l'année même de la mort de D'Alembert). Cette traduction voit le jour grâce à un financement accordé par Turgot (alors Contrôleur général), en 1775, sur l'initiative de Condorcet : voir (Gilain, 1996).

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

conduits depuis lors pour tenter de résoudre par approximations l'équation différentielle non linéaire du mouvement obtenue dans l'hypothèse d'une loi de résistance proportionnelle au carré de la vitesse. C'est le cas du mémoire (inaugural en la matière) d'Euler de 1753 (pourtant initialement cité par D'Alembert), dans lequel ce dernier procède à une intégration de l'équation par la méthode des trapèzes et esquisse une première table de tirs que l'officier prussien H. F. Graevenitz se chargera de compléter quelques années plus tard (1764). C'est également le cas de la méthode (fondée sur les développements en série) présentée par J.-H. Lambert (1767), dont s'inspirent par exemple les travaux de Tempelhoff (1781), ou de celles (consistant à se ramener à des expressions approchées du terme de résistance qui rendent l'équation intégrable) développées par Borda (1772), par Bézout dans la troisième édition de son *Cours de mathématiques, à l'usage du corps royal de l'Artillerie* (1781, t. IV, p. 153-197 et appendice, p. 438-469) et par Legendre (1782)⁵³. Charles et Bossut font de même l'impasse sur l'ensemble des recherches expérimentales conduites depuis l'ouvrage de Robins, parmi lesquelles celles réalisées par Borda (1767) et par l'anglais Charles Hutton (1779)⁵⁴.

Le seul élément détonnant du dictionnaire de *Mathématiques* reprend, sous le même nom, une partie de l'article INSTRUMENT *balistique* de Jean III Bernoulli dans le *Supplément à l'Encyclopédie*, à savoir la description et la théorie (fondée sur l'hypothèse d'une trajectoire parabolique...) d'une « petite machine » de l'invention de Daniel Bernoulli, « très-propre à exercer ceux qui se vouent au service de l'artillerie, & dont je lui ai vu faire un emploi si avantageux dans un petit cours expérimental sur le jet des bombes » (*E.M. Math.* II, 1787, p. 209b). La « Solution du problème balistique, en supposant la résistance de l'air proportionnelle au carré de la vitesse du projectile ; tirée du journal littéraire de Berlin, ann. 1772 » qui complétait l'article dans le *Supplément* a en revanche disparu, signe que

53. Notons qu'à l'exception de ceux de Legendre, la deuxième édition de l'*Histoire des mathématiques de Montucla* fait état de l'ensemble de ces travaux. Elle consacre en particulier plusieurs pages à la présentation du mémoire de Borda (1772) : voir (Montucla, 1802, t. III, p. 667-678).

54. Les résultats des expériences réalisées par Charles Hutton à Woolwich en 1775 et rapportées dans les *Philosophical Transactions* pour l'année 1778 (Hutton, 1779) sont pourtant intégralement reproduits par Lombard à la suite de sa traduction de la version, commentée par Euler, des *New Principles of Gunnery* de Robins : voir (Lombard, 1783, p. vi-vii et p. 508-531).

A. GUILBAUD

Charles et Bossut n'ont pas jugé pertinent de la faire figurer.

Nous pourrions, nous venons de le voir, en dire autant de l'ensemble des travaux conduits, depuis Robins, sur la théorie mathématique du mouvement des projectiles : comme les théories de l'architecture navale ou de la manœuvre des vaisseaux, celle-ci ne paraît donc pas faire partie des frontières assignées aux « mathématiques » dans l'*Encyclopédie méthodique*.

Les articles d'hydraulique

La situation est un peu différente dans le domaine de l'hydraulique, notamment parce qu'il s'agit d'un sujet sur le versant théorique duquel Bossut a longuement œuvré. Si les nombreux articles ajoutés ou de nouveau rédigés dans le dictionnaire de *Mathématiques* montrent clairement que la question de l'écoulement des eaux a reçu un traitement privilégié au regard de ceux réservés à la marine et la balistique, l'ensemble n'en reste pas moins, comme nous allons le voir, fortement partial et hétérogène.

Les articles les plus conséquents de D'Alembert dans l'*Encyclopédie*, tels FLEUVE, FONTAINE, HYDRAULIQUE et HYDRODYNAMIQUE, sont intégralement repris et (FONTAINE mis à part) tous complétés par un seul et unique renvoi au *Traité élémentaire d'hydrodynamique* de Bossut (1775)⁵⁵ où, précise l'article HYDRODYNAMIQUE, « la théorie & l'expérience sont réunies & se prêtent un secours mutuel » (*E.M. Math.* II, 1787, p. 179a).

La plupart des articles d'hydraulique de d'Argenville ont, quant à eux, soit disparu, soit été retravaillés⁵⁶. Certains (souvent de simples définitions, ou de nature descriptive) sont néanmoins partiellement ou intégralement repris (avec sa signature) : c'est le cas de l'article CONDUIRE LES EAUX, seul rescapé de notre corpus initial concernant la résistance des fluides, dans lequel d'Argenville, abordant la question de l'acheminement des eaux

55. Les renvois à des pages particulières que nous avons trouvés dans l'article FLEUVE et d'autres articles du tome I (tels que AUBE) montrent qu'il s'agit de la deuxième édition de l'ouvrage, publiée en 1775. Dans l'article RÉSISTANCE *des fluides*, Charles cite néanmoins le premier tome du *Traité théorique et expérimental d'hydrodynamique* de Bossut (1786-1787), signe que l'ouvrage est déjà paru, ou sur le point de l'être, au moment où il rédige son complément au texte initial de D'Alembert.

56. C'est le cas, pour les articles de d'Argenville dans l'*Encyclopédie* abordant la question de la résistance des fluides, de EFFORT OU RÉSISTANCE, FORCE *des eaux*, TUYAUX, *Proportions des tuyaux*, RÉSISTANCE *des eaux* (supprimés) et de DÉPENSE, ELÉVATION et JET *d'eau* (soit coupés, soit intégralement ou partiellement réécrits).

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

dans les villes et à la campagne, conseille toujours, sans plus de précisions, d'« éviter les coudes, les jarrets & les angles droits qui diminuent la force des eaux » et « d'employer des tuyaux plus gros dans les coudes pour éviter les frottements ».

Pour le reste, il apparaît indispensable de distinguer la partie du dictionnaire (tome I et début du tome II) éditée par Bossut et celle prise en charge par Charles à la suite de leur passage de témoin. . .

Dans le premier tome, Bossut retravaille d'abord la question des ajustages en lien avec celle du phénomène de contraction de la veine, ce sur la base des résultats expérimentaux de son *Traité élémentaire d'hydrodynamique* : il réécrit en particulier l'article AJUTAGE OU AJUTOIR initialement cosigné par D'Alembert et d'Argenville, l'article DÉPENSE de ce dernier, et ajoute deux articles conséquents, ADDITIONNEL et CONTRACTION DE LA VEINE. Il rédige également, nous l'avons déjà signalé, un article ECOULEMENT qui n'existait ni dans l'*Encyclopédie* ni dans le *Supplément*, et qui contient ici un exposé aussi complet que mathématique de sa méthode unidimensionnelle de mise en équation du mouvement des fluides (elle-même directement inspirée de celle développée par D'Alembert dans son *Traité des fluides*). L'ensemble témoigne donc d'un important travail de remise à jour, sans rapport explicite, toutefois, avec le sujet de la résistance.

Parmi l'ensemble de ses contributions à l'hydraulique dans le tome I, deux articles traitent de la question de façon consistante. L'article AUBE, tout d'abord, en lien avec le problème des machines hydrauliques, s'achevait dans l'*Encyclopédie* sur une conclusion fort pessimiste de D'Alembert quant à l'utilité d'un traitement mathématique : « quand la solution de ce problème », écrivait-il, « seroit possible mathématiquement, ce que je n'ai pas suffisamment examiné, je ne doute pas que les considérations physiques ne l'altérassent beaucoup, & peut-être même ne la rendissent tout-à-fait inutile » (*Enc. I*, 1751, p. 865a). Dans le dictionnaire de *Mathématiques*, Bossut fait passer le tout à la trappe et propose un nouvel article dans lequel il rend compte de sa solution mathématique à la question de savoir « si une aube a plus de force pour tourner quand elle est frappée perpendiculairement, que quand elle est frappée obliquement ». En toute cohérence avec l'article RÉSISTANCE *des fluides*, qui affirmait, rappelons-nous, que la loi ordinaire de résistance « peut être employée, sans craindre beaucoup d'erreur, dans le calcul des machines mues, à l'aide des roues, par

A. GUILBAUD

des courans d'eau ou d'air » (*E.M. Math.* II, 1787, p. 763a), le savant applique, dans ce cadre, la formule de Newton dans le cas d'un choc oblique de l'eau sur les aubes de la roue. L'article, qui s'appuie explicitement sur son *Traité élémentaire d'hydrodynamique* et son mémoire de 1769 consacré à la « Détermination générale de l'effet des Roues mûes par le choc de l'eau » (Bossut, 1772), aborde outre cela les problèmes consistant à déterminer le nombre d'aubes sur une roue et la « vitesse que la roue doit prendre par rapport à celle du fluide, pour que l'effet de la machine soit un maximum » (*E.M. Math.* I, 1784, p. 198b).

De la même façon, l'article DIGUE, dans lequel D'Alembert s'avouait confronté « à un grand nombre de circonstances physiques qu'on ne peut soumettre au calcul, & sur lesquelles l'expérience seule peut instruire » (*Enc.* IV, 1754, p. 1005a), fait peau neuve. Bossut y traite mathématiquement, toujours par le biais de la loi ordinaire newtonienne, de « la construction la plus avantageuse » et des « usages des différentes sortes de digues » d'après l'ouvrage (Bossut, 1764) qu'il a « composé conjointement avec M. Viallet, Ingénieur des Ponts et Chaussées, & qui remporta, en 1762, le prix quadruple de l'Académie des sciences de Toulouse » (*E.M. Math.* I, 1784, p. 527b).

Tout change cependant à partir du tome II, ce dont témoigne en premier lieu le traitement réservé à la question des machines hydrauliques. L'article homonyme (disposé à la suite de l'article HYDRAULIQUE), initialement rédigé par d'Argenville sur la base de large extraits de l'*Architecture hydraulique* de Bélidor (1737-1753), est ici repris à l'identique, sans aucune modification : de même que dans l'*Encyclopédie*, il n'y est donc rien dit de l'effet de la résistance des fluides. Dans l'article AUBE, qui pouvait faire espérer que le dictionnaire pallierait cette lacune, Bossut nous promettait de trouver « aux articles *moulins, roue*, la théorie des aîles des moulins à vent & celle des roues horizontales » (*E.M. Math.* I, 1784, p. 199a-b). L'abandon de la responsabilité de l'édition semble malheureusement avoir eu raison de ce projet : le tome II ne contient pas d'article MOULINS ; quant à l'article ROUE, copie (dédiée à ce que nous pourrions appeler la question des engrenages) de celui de D'Alembert dans l'*Encyclopédie*, il ne mentionne aucunement le sujet sous cet angle. L'article POMPE, signé par Bossut, renouvelle intégralement le texte initial de d'Argenville, mais se contente de donner une description des trois « espèces primordiales de pompe » sans

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

aborder la question de la résistance des fluides : tout juste mentionne-t-il, en conclusion, qu'on ne pourra « espérer de perfectionner réellement ces machines, qu'en diminuant le plus qu'il est possible le frottement, en employant de bons pistons, des soupapes fidèles » (*E.M. Math.* II, 1787, p. 628a).

Pour le reste, l'article *JET d'eau* traitant de la théorie des eaux jaillissantes est signé par Charles, l'article *POUCE D'EAU*, dédié à l'unité de mesure utilisée par les jardiniers⁵⁷, par Lalande. Nous sommes, dans les deux cas, renvoyés aux théories et expériences du *Traité élémentaire d'hydrodynamique*.

Les conséquences du passage de témoin entre Bossut et Charles au début du tome II ne sont donc pas négligeables et privent les lecteurs d'un ensemble consistant d'articles concernant la théorie des machines hydrauliques. D'autres sujets liés à la question de la résistance des fluides, tels que le mouvement des rivières, la mesure de la vitesse des fleuves, le mouvement des eaux dans les canaux ou les tuyaux de conduite, sur lesquels Bossut possédait pourtant aussi de nombreux matériaux⁵⁸, héritent, sans changements notables, du contenu de l'*Encyclopédie*. Service minimum donc, si l'on exclut le premier tome du dictionnaire.

Nous ne sommes pas surpris, en revanche, de voir disparaître une bonne partie des articles d'hydraulique de d'Argenville, dont les formules empiriques (tirées de Mariotte) et les règles de trois n'auraient pas fait bon ménage avec les articles techniques rédigés par Bossut : tout laisse à penser que certains d'entre eux, comme *CONDUIRE LES EAUX*, y ont été conservés par défaut. Le dictionnaire passe également l'*Architecture hydraulique* de Bélidor (1737-1753) par pertes et profits (à l'exception de l'article *MACHINES HYDRAULIQUES*, repris de l'*Encyclopédie*), ce qui ne nous étonnera guère compte tenu, par exemple, de la piètre opinion qu'en exprimait Condorcet, proche de Bossut, dans l'une de ses lettres à Turgot⁵⁹.

Une fois encore, les changements apportés n'ont donc pas d'autre source que les travaux de Bossut. Tous les travaux de Borda sur l'hydraulique

57. Il s'agit de « la quantité d'eau qui sort en une minute [...], horizontalement [...] & par un trou circulaire d'un pouce de diamètre, fait dans une place verticale d'une ligne d'épaisseur » (*E.M. Math.* II, 1787, p. 633a).

58. Voir (Bossut, 1771), (Bossut, 1775), (Bossut, 1786-1787) et ([Anonyme], 1809).

59. Minute de lettre de Condorcet à Turgot de 1775, Bibliothèque de l'Institut (Paris), Ms. 855, f. 183 r° et 184 v° – 185 r°.

A. GUILBAUD

et l'hydrodynamique, pourtant fort voisins de ceux de Bossut, sont soigneusement passés sous silence (l'article *JET d'eau* de Charles n'échappe d'ailleurs pas à la règle), probablement en raison de la querelle scientifique qui l'avait opposé à D'Alembert, Bossut et Condorcet entre 1766 et la fin des années 1780 sur les questions de l'écoulement des fluides dans les vases et les conduites⁶⁰. Je pense notamment à ses recherches sur le principe de conservation des forces vives et, dans ce cadre, à sa formule théorique estimant les pertes de forces vives (par analogie à des chocs mutuels entre parties du fluide) provoquées par de brusques variations du diamètre de la conduite d'écoulement (Borda, 1769). Cette formule, permettant d'évaluer un certain type de déperdition au sein d'un fluide (phénomène aujourd'hui connu sous le nom de pertes de charges singulières), et cette méthode, fondée sur l'utilisation du principe des forces vives, Borda les avait ensuite appliquées avec succès à deux problèmes pratiques directement en lien avec les compléments effectués par Bossut dans le dictionnaire : celui des roues hydrauliques, verticales et horizontales (Borda, 1770b), et celui « de l'effet des *étranglemens* ou *contractions* que les colonnes d'eau qui se meuvent dans les Pompes, éprouvent en traversant les passages des *souppes* » (Borda, 1771). Comme le remarquera Navier quelques dizaines d'années plus tard (Navier, 1818), Borda est non seulement le premier à donner une théorie de la question des roues verticales mues par le poids de l'eau, mais aussi le premier à étudier la question des roues horizontales à aubes courbes.

Partagé par D'Alembert, Condorcet (ainsi que Charles, apparemment), le désaccord de Bossut avec les travaux de Borda l'incite aussi à passer sous silence les travaux de deux continuateurs de cette approche : Charles Coulomb, qui donne en 1781 un mémoire sur la théorie des moulins à vent (Coulomb, 1784), et Lazare Carnot, dont le célèbre *Essai sur les machines*, inspiré du mémoire de Borda pour ce qui concerne les machines hydrauliques, paraît en 1783⁶¹. Le dictionnaire de *Mathématiques*, qui fait également l'impasse sur les nombreuses recherches d'Euler⁶² en la matière ou

60. Voir (Guilbaud, 2007). Il en est de même des travaux sur la théorie des machines hydrauliques présentés par Daniel Bernoulli dans son *Hydrodynamica* (1738) et dans la continuité desquels s'inscrivent les recherches de Borda dans ce domaine.

61. Voir (Belhoste *et al.*, 1990) et (Gillipsie et Youschkevitch, 1979).

62. Les mémoires produits par Euler sur la théorie des machines hydrauliques dans le courant des années 1750 sont trop nombreux pour en donner ici la liste : voir le volume des

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

sur les expériences de l'ingénieur anglais John Smeaton (1760)⁶³, manque assurément là une occasion de faire état des progrès de son époque concernant la science des machines hydrauliques, alors même que les prospectus de 1781 et de 1788 promettaient de traiter la question « avec le plus grand soin »⁶⁴.

4. Conclusions

Le traitement du problème de la résistance des fluides dans l'*Encyclopédie méthodique de Mathématiques* permet donc de mettre plusieurs particularités en lumière. La première tient au faible rôle accordé aux théories à visée pratique et, dans ce cadre, à ce que nous pourrions appeler les « mathématiques » appliquées à des problèmes concrets : cela est particulièrement flagrant dans le domaine de la marine et de la balistique. Mise à part l'hydraulique, au sujet de laquelle Bossut apporte quelques compléments théoriques au contenu de l'*Encyclopédie*, tout se passe donc comme si ce type de « mathématiques » (mobilisant à la fois la mécanique, l'hydrodynamique et le calcul différentiel et intégral) n'avait pas vraiment sa place dans le dictionnaire. Il ne s'agit pourtant pas d'une règle générale à cette époque, ainsi qu'en témoignent les chapitres de la seconde édition de l'*Histoire des mathématiques* de Montucla (1799-1802), achevée par Lalande, respectivement consacrés à la balistique (t. III, p. 667-678), à la théorie des machines hydrauliques (t. III, p. 744-759) et aux « progrès de la navigation [...] pour la construction et la manœuvre » (t. IV, p. 381-507)⁶⁵.

Ce constat paraît pour partie lié aux aléas du processus d'édition, notamment aux changements de répartition qui semblent avoir eu lieu en cours de route entre le contenu du dictionnaire de *Mathématiques* et celui de *Marine* (qui prend quasi intégralement en charge les questions des canaux de

Opera Omnia qui leur est consacré (Euler, 1957).

63. Notons cependant que la première traduction française (par Girard) de l'ouvrage de Smeaton ne paraîtra qu'en 1810. Sur ces recherches de Smeaton et, plus généralement, sur l'histoire de l'hydraulique au XVIII^e siècle, voir (Rouse et Ince, 1957, p. 91-138).

64. (*Mercur de France*, 8 décembre 1781, p. 60) et (*EM Beaux-Arts* I, 1788, p. ix).

65. Ce dernier chapitre traite successivement de la construction, de l'arc des vaisseaux, des rames, des voiles, de la manœuvre des vaisseaux, du gouvernail, de la résistance de l'eau sur les différentes figures des vaisseaux, du roulis et du tangage, de l'arrimage, de l'*Examen maritime* de Jorge Juan et du jaugeage des navires !

A. GUILBAUD

navigation intérieure, de l'architecture navale et de la manœuvre des vaisseaux), ainsi qu'à la transition entre Bossut et Charles, qui paraît avoir empêché le premier de tenir ses promesses sur la question des machines hydrauliques.

Il tient aussi à la conception que les éditeurs se font de l'utilité des « mathématiques » dans le domaine des applications impliquant la prise en compte du phénomène de résistance. Que ce soit dans l'article *JET des bombes* ou dans son complément à l'article *RÉSISTANCE des fluides*, nous constatons que Charles insiste sur les limites de la loi ordinaire de résistance (en particulier la loi du choc oblique) et sur l'incapacité de l'expérience à fournir des formules susceptibles d'être soumises au calcul. Seul le sujet dans le cadre duquel la formule newtonienne est, à l'inverse, présentée comme « pouvant être employée, sans craindre beaucoup d'erreurs » (les roues hydrauliques et les ailes des moulins), fait (ou devait faire) l'objet d'une attention toute particulière. Si l'on ajoute à cela l'absence d'exposé des travaux analytiques dus à D'Alembert, Euler et Lagrange, l'ensemble laisse à penser que les mathématiques appliquées ont été reléguées dans la mesure où leur utilité dépend avant tout de l'existence de lois de résistance à la fois conformes à l'expérience et suffisamment générales pour être soumises au calcul. De ce point de vue, le contenu du dictionnaire de *Mathématiques* se situe, pour une part, dans la continuité des propos pessimistes tenus par D'Alembert dans l'*Encyclopédie*, et constitue, pour une autre part, une sorte de nouveau constat d'échec, dans la mesure où les expériences particulières que celui-ci appelait de ses vœux n'ont apparemment pas permis de déboucher sur les résultats escomptés.

La seconde spécificité de l'*Encyclopédie méthodique de Mathématiques* sur le sujet de la résistance des fluides tient à la partialité du contenu des articles, qu'il s'agisse de ceux retravaillés par Bossut ou par Charles. Si D'Alembert, comme on sait, profitait de ses contributions à l'*Encyclopédie* pour défendre ses travaux et régler certaines de ses querelles scientifiques, force est de constater que ceux de Bossut font ici figure de référence exclusive : seule la balistique, sur laquelle ce dernier n'a pas travaillé, échappe à la règle. Cet état de fait n'est pas, nous l'avons vu, sans conséquence sur la crédibilité des articles. Charles et Bossut, font, ce faisant, l'impasse sur l'ensemble des travaux physico-mathématiques conduits, depuis le milieu du XVIII^e siècle, par nombres d'ingénieurs, qu'ils soient français ou étrangers, sur le sujet de la résistance des fluides : parmi eux, l'ingénieur espa-

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

gnol Jorge Juan, l'ingénieur suédois Chapman, l'ingénieur Du Buat, ainsi que plusieurs des membres de l'Académie royale de Marine, l'ingénieur Vial du Clairbois, le professeur de mathématiques Duval-Leroy, mais aussi Borda, à la fois ingénieur et savant, et membre des deux académies (celle de Marine et celle des sciences de Paris). Quoique l'hypothèse mérite encore d'être étayée, il est possible, compte tenu du contexte particulier des années 1760 et 1770, que cette particularité constitue l'expression d'une certaine défiance envers une classe d'acteurs dont le dictionnaire ne dit mot : les ingénieurs⁶⁶.

Notons d'ailleurs que le court aperçu que nous donnions du contenu du dictionnaire de *Marine* sur l'hydrodynamique et le sujet de la résistance des fluides montre que les trois tomes qui le constituent méritent assurément une étude de fond sur les rapports qu'y entretiennent théorie et pratique et, dans ce cadre, mathématiques, expériences et sciences de l'ingénieur. Il en est de même de plusieurs autres sujets à dimension appliquée (tels que l'optique théorique et instrumentale) dans le dictionnaire de *Mathématiques*, dont nous espérons que l'étude pourra un jour venir conforter, infirmer ou nuancer les conclusions que nous avons pu tirer sur le sujet de la résistance des fluides.

Remerciements : Je tiens à remercier Alain Coste, Marie Leca-Tsiomis et Marine Pobel pour leurs relectures attentives de cet article ; ils ne sauraient cependant être tenus pour responsables des lacunes et erreurs susceptibles d'y subsister.

Abréviations :

— *MARS année 17XX* / Histoire de l'Académie royale des sciences pour l'année 17XX, partie Mémoires.

— *HAB année 17XX* / Histoire de l'Académie des sciences et belles-lettres (Berlin) pour l'année 17XX.

Bibliographie

Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers (1751-1765), vol. I-XVII.

Encyclopédie méthodique. Marine (1783-1787), vol. I-III.

66. Contrairement à l'*Encyclopédie* et aux dictionnaires d'*Art militaire* et de *Marine*, l'*Encyclopédie méthodique de Mathématiques* ne comporte pas d'article INGÉNIEUR.

A. GUILBAUD

- Encyclopédie méthodique. Art militaire* (1784-1787), vol. I-III.
- Encyclopédie méthodique. Mathématiques* (1784-1789).
- Encyclopédie méthodique Artillerie* (1822).
- [Anonyme] (1809), Notice des principaux ouvrages de Charles Bossut, dans *Essai sur l'histoire générale des mathématiques, nouvelle édition augmentée et continuée jusqu'en 1808*, Paris, p. 419–426.
- Argenville, Antoine-Joseph Desallier d' (1747), *La théorie et la pratique du jardinage [...] avec [...] un traité d'hydraulique convenable aux jardins*, Paris.
- Belhoste, Bruno, Jean-François Belhoste, Serge Benoit, Claudine Cartier, Geneviève Dufresne, Gérard Emptoz, Claudine Fontanon, et Louis Lemaitre (1990), Le moteur hydraulique en France au XIX^e siècle : concepteurs, inventeurs et constructeurs, dans *Cahiers d'histoire & de philosophie des sciences*, vol. 29.
- Bélibidior, Bernard Forest de (1737-1753), *Architecture hydraulique, ou l'Art de conduire et de ménager les eaux pour les différens besoins de la vie* (4 vol.).
- Belissa, Marc (2006), L'art militaire de l'*Encyclopédie méthodique*, dans Claude Blanckaert et Michel Porret (éd.), *L'Encyclopédie méthodique (1782-1832) – Des Lumières au positivisme*, Genève : Droz, p. 361–379.
- Bernoulli, Daniel (1738), *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii*, Strasbourg.
- Bernoulli, Daniel (1769), Recherches sur la maniere la plus avantageuse de suppléer à l'action du Vent sur les grands Vaisseaux, soit en y appliquant les Rames, soit en y employant quelque autre moyen que ce puisse être, *Recueil des pièces qui ont remporté les prix de l'Académie royale des sciences VII*, Pièce n^o3.
- Bézout, Etienne (1781), *Cours de mathématiques à l'usage du corps royal de l'artillerie*, vol. IV, Paris (3^e éd.).
- Borda, Jean-Charles (1767), Expériences sur la résistance des fluides, *MARS année 1763*, p. 358–376.
- Borda, Jean-Charles (1769), Mémoire sur l'écoulement des fluides par les orifices des vases, *MARS année 1766*, p. 579–607.
- Borda, Jean-Charles (1770a), Expériences sur la résistance des fluides, *MARS année 1767*, p. 495–503.
- Borda, Jean-Charles (1770b), Mémoire sur les roues hydrauliques, *MARS année 1767*, p. 270–287.
- Borda, Jean-Charles (1771), Mémoire sur les pompes, *MARS année 1768*, p. 418–431.
- Borda, Jean-Charles (1772), Sur la courbe décrite par les boulets et les bombes, en ayant égard à la résistance de l'air, *MARS année 1769*, p. 247–271.
- Bossut, Charles (1771), *Traité élémentaire d'hydrodynamique*, vol. 1-2, Paris.
- Bossut, Charles (1772), Détermination générale de l'effet des Roues mûes par le choc de l'eau, *MARS année 1769*, p. 477–497.
- Bossut, Charles (1775), *Traité élémentaire d'hydrodynamique* (2^e éd.), vol. 1-2, Paris.

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

- Bossut, Charles (1781), Nouvelles expériences sur la résistance des fluides, *MARS année 1778*, p. 353–380.
- Bossut, Charles (1786-87), *Traité théorique et expérimental d'hydrodynamique*, vol. 1-2, Paris.
- Bossut, Charles, Jean Le Rond D'Alembert, et Marie Jean Antoine Nicolas Caritat marquis de Condorcet (1777), *Nouvelles expériences sur la résistance des fluides*, Paris.
- Bossut, Charles et Viallet (1764), *Recherches sur la construction la plus avantageuse des digues*, Paris.
- Bouguer, Pierre (1735), Une Base qui est exposée au choc d'un Fluide étant donnée, trouver l'espece de Conoïde dont il faut la couvrir, pour que l'impulsion soit la moindre qu'il est possible !, *MARS année 1733*, p. 85–107.
- Bouguer, Pierre (1746), *Traité du navire, de sa construction et de ses mouvemens*, Paris.
- Bouguer, Pierre (1757), *De la manœuvre des vaisseaux*, Paris.
- Bret, Patrice (2002), *L'État, l'armée, la science – L'invention de la recherche publique en France (1763-1830)*, Rennes : Presses universitaires de Rennes.
- Calero, Julian Simon (2008), *The Genesis of Fluid Mechanics 1640-1780*, vol. 22, Dordrecht : Springer.
- Carnot, Lazare (1783), *Essai sur les machines en général*, Paris.
- Chambers, Ephraïm, *Cyclopaedia, or, An universal dictionary of arts and sciences* (1728), 2 vol.
- Chapman, Frédéric Henri de (1768), *Architectura navalis mercatoria*, Stockolm.
- Coste, Alain et Pierre Crépel (2006), Propectus pour une étude du dictionnaire de *Mathématiques* de l'*Encyclopédie méthodique*, dans Claude Blanckaert et Michel Porret (éd.), *L'Encyclopédie méthodique (1782-1832) – Des Lumières au positivisme*, Genève : Droz, p. 493–519.
- Coulomb, Charles (1784), Observations théoriques & expérimentales sur l'effet des Moulins à vent, & sur la figure de leurs ailes, *MARS année 1781*, p. 65–81.
- Crépel, Pierre (1996), Une curieuse lettre de Borda à Condorcet et un non moins curieux article du *Journal encyclopédique*, dans E. Brian et C. Demeulenaere-Douyère (éd.), *Histoire et mémoire de l'Académie des sciences : Guide de recherches*, Paris : Tec et Doc Lavoisier, p. 325–337.
- Crépel, Pierre (2006), La 'physique' dans l'*Encyclopédie*, *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie* 41-42, p. 251–283.
- D'Alembert, Jean le Rond (1747), *Réflexions sur la cause générale des vents*, Paris.
- D'Alembert, Jean Le Rond (1752), *Essai d'une nouvelle theorie de la résistance des fluides*, Paris.
- D'Alembert, Jean le Rond (1761), *Opuscules mathématiques*, Paris.
- D'Alembert, Jean le Rond (2008), *Œuvres complètes*, vol. III/1, *Opuscules mathématique* tome I (1761), Paris : CNRS Éditions.

A. GUILBAUD

- Darrigol, Olivier (2005), *Worlds of flow : A history of hydrodynamics from the Bernoullis to Prandtl*, Oxford : Oxford University Press.
- Didion, Isidore (1848), *Traité de balistique*, Paris.
- Du Buat, Pierre Louis Georges (1779), *Principes d'hydraulique*, vol. 1-2, Paris.
- Duhamel du Monceau, Henri-Louis (1752), *Éléments de l'architecture navale, ou Traité pratique de la construction des vaisseaux*, Paris.
- Euler, Leonhard (1745), *Neue Grundsätze der Artillerie aus dem Englischen des Herrn Benjmain Robins übersetzt und mit vielen anmerkungen*, Berlin.
- Euler, Leonhard (1749a), Mémoire sur la force des rames, *HAB année 1747*, p. 180–213.
- Euler, Leonhard (1749b), *Scientia navalis, seu tractatus de construendis ac dirigendis navibus*, Petersbourg.
- Euler, Leonhard (1755), Recherches sur la véritable courbe que décrivent les corps jettes dans l'air ou dans un autre fluide quelconque, *HAB année 1753*, p. 312–352.
- Euler, Leonhard (1757), Principes généraux du mouvement des fluides, *HAB année 1755*, p. 274–315.
- Euler, Leonhard (1781), Essai d'une theorie de la resistance qu'éprouve la proue d'un vaisseau dans son mouvement, *MARS année 1778*, p. 597–602.
- Euler, Leonhard (1957), *Opera Omnia – Leonhardi Euleri Commentationes Mechanicae ad theoriam machinarum pertinentes*, Jakob Ackeret (éd.), vol. II/15, Lausanne.
- Ferreiro, Larrie D. (2007), *Ships and Science — The Birth of Naval Architecture in the Scientific Revolution 1600-1800*, Cambridge (Massachusetts), Londres : MIT Press.
- Ferreiro, Larrie D. (2010), Pierre Bouguer and the solid of least resistance, *Revue d'histoire des sciences* 63, p. 93–119.
- Firode, Alain (2006), Les catégories de la mécanique dans l'*Encyclopédie*, *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie* 41-42, p. 179–192.
- Fuss, Paul Heinrich (1843), *Correspondance mathématique et physique de quelques célèbres géomètres du XVIII^{ème} siècle*, St-Petersbourg.
- Gilain, Christian (1993), Condorcet, les mathématiques et le *Supplément à l'Encyclopédie*, *Lekton III-1*, p. 79–92.
- Gilain, Christian (1996), Sur la correspondance de Condorcet avec Euler et ses disciples de Pétersbourg, *Mélanges de l'Ecole française de Rome*, t. 108, p. 517–531.
- Gilain, Christian (2010), La place de l'analyse dans la classification des mathématiques : de l'*Encyclopédie* à la *Méthodique*, *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie* 45, p. 109–128.
- Gillipsie, Charles Coulston et Adolf P. Youschkevitch (1979), *Lazare Carnot savant et sa contribution à la théorie de l'infini mathématique*, Paris : Vrin (éd. originale angl., Princeton University Press, 1971).

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

- Gough, J. B. (1979), Charles the Obscure, *ISIS* 70-4, p. 576–579.
- Graevenitz, H. F. (1764), *Akademischen Abhandlung von der Bahn der Geschützkugeln*, Rostock.
- Grimberg, Gérard (1998), *D'Alembert et les équations aux dérivées partielles en hydrodynamique*, Thèse, Université Paris 7.
- Guglielmini, Domenico (1697), *Della natura de' fiumi : trattato fisico-matematico*, Bologne.
- Guilbaud, Alexandre (2007), *L'hydrodynamique dans l'œuvre de D'Alembert 1766–1783*, Thèse, Université Lyon 1.
- Guilbaud, Alexandre (2008), La 'République des Hydrodynamiciens' de 1738 jusqu'à la fin du 18^e siècle, *Revue Dix-Huitième Siècle* 40, p. 153–171.
- Hahn, Roger (1964a), The Chair of Hydrodynamics in Paris, 1775-1791 : a Creation of Turgot, dans *Actes du X^e Congrès international d'histoire des sciences*, vol. 2, p. 751–754.
- Hahn, Roger (1964b), L'hydrodynamique au XVIII^e – Aspects scientifiques et sociologiques, dans *Conférence donnée au Palais de la Découverte le 7 novembre 1964*.
- Hahn, Roger (1981), More light on Charles the Obscure, *ISIS* 72-1, p. 83–86.
- Hutton, Charles (1779), The Force of fired Gun-powder, and the initial Velocities of Cannon Balls, determined by Experiments ; from which is also deduced the Relation of the initial Velocity to the Weight of the Shot and the Quantity of Powder, *Philosophical Transactions for the Year 1778 (part. I)*, p. 50–85.
- Juan y Santacilia, Jorge (1771), *Examen marítimo, teórico práctico, ó Tratado de mecánica aplicado á la construcción, Examen marítimo, teórico práctico, ó Tratado de mecánica aplicado á la construcción, conocimiento y manejo de los navios y demás embarcaciones*, vol. 1-2, Madrid.
- Lalande, Joseph-Jérôme de (1778), *Traité des canaux de navigation et spécialement du canal du Languedoc*, Paris.
- L'Allemand (1785), *Mémoire sur la navigation intérieure ; Observations sur l'opération particulière ordonnée par le Gouvernement pour préparer l'opération générale présentée ici dans tous ses rapports*, Paris.
- Lambert, John-Heinrich (1767), Mémoire sur la resistance des fluides avec la solution du problème ballistique, *NMAB année 1765*, p. 102–188.
- Legendre, Adrien-Marie (1782), *Dissertation sur la question de balistique proposée par l'Académie royale des sciences et belles-lettres de Prusse pour le prix de 1782*, Berlin.
- Lemonnier, Henry (1926), *Procès-verbaux de l'Académie royale d'architecture*, vol. IX, Paris : Champion.
- Lombard, Jean-Louis (1783), *Nouveaux principes d'artillerie de M. Benjamin Robins, commentés par M. Léonard Euler, traduits de l'Allemand avec des notes*, Paris.
- Mariotte, Edme (1758), *Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides*,

A. GUILBAUD

Paris : Estienne Michallet.

- Mascart, Jean (1919), *La Vie et les travaux du Chevalier Jean-Charles de Borda (1733-1799) – Episodes de la vie scientifique au XVIII^e siècle*, vol. II, Lyon : Annales de l'Université de Lyon.
- Montucla, Jean-Étienne (1799-1802), *Histoire des mathématiques* (2^e éd. [complété et achevé par Lalande]), vol. III-IV, Paris.
- Navier, Charles-Henri (1818), Détails historiques sur l'emploi du principe des forces vives dans la théorie des machines, et sur diverses roues hydrauliques, *Annales de chimie et de physique* IX, p. 146–159.
- Newton, Isaac (1687), *Philosophiæ naturalis principia mathematica* (2^e éd., 1713 ; 3^e éd., 1726), Londres.
- Passeron, Irène (2006a), D'Alembert refait le MONDE (Phys.) : parcours dans les mathématiques mixtes, *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie* 40-41, p. 155–177.
- Passeron, Irène (2006b), Quelle(s) édition(s) de la *Cyclopaedia* les encyclopédistes ont-ils utilisée(s) ?, *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie* 40-41, p. 287–292.
- Picon, Antoine (1992), *L'Invention de l'ingénieur moderne – L'École des Ponts et Chaussées 1747-1851*, Paris : Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées.
- Pitot, Henri de (1735), Description d'une Machine pour mesurer la vitesse des Eaux courantes, & le sillage des Vaisseaux, *MARS année 1732*, p. 363–376.
- Prony, Gaspard Clair François Marie Riche de (1790), *Nouvelle architecture hydraulique*, vol. 1, Paris.
- Redondi, Pietro (1989), D'Alembert et la technologie : l'affaire du canal de Picardie, dans *Jean d'Alembert savant et philosophe. Portrait à plusieurs voix*, Paris : Edition des archives contemporaines, p. 433–460.
- Robins, Benjamin (1742), *New Principles of Gunnery : containing the determination of the force of gunpowder, and an investigation of the difference in the resisting power of the air to swift and slow motions*.
- Rouse, Hunter et Simon Ince (1957), *History of Hydraulics*, State University of Iowa : Iowa Institute of Hydraulic Research.
- Savérien, Alexandre (1758), *Dictionnaire historique, théorique et pratique de marine* (2 vol.), Paris : Charles-Antoine Jombert.
- Séris, Jean-Pierre (2002), Le problème de la manœuvre de vaisseaux à l'époque de D'Alembert, dans A. Michel et M. Paty (éd.), *Analyse et dynamique – Etudes sur l'œuvre de D'Alembert*, Québec : Les Presses de l'Université Laval, p. 317–358.
- Smeaton, John (1760), *An Experimental Enquiry concerning the natural Powers of Water and Wind to Turn Mills, and other Machines, depending of circular Motion*, Londres.
- Steele, B. D. (1994), *Muskets and Pendulums* : Benjamin Robins, Leonhard Euler,

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

- and the Ballistics Revolution, *Technology and Culture* 35(2), p. 348–382.
- Sumi, Yoichi (2002), De la *Cyclopaedia* à l'*Encyclopédie* : traduire et réécrire, dans *Sciences, musique, Lumières, Mélanges offerts à Anne-Marie Chouillet*, Ferney-Voltaire : Centre international d'étude du XVIII^e siècle, p. 409–419.
- Szulman, Eric (2011), *La navigation intérieure de Colbert à la Révolution : genèse d'une catégorie d'action publique et émergence de la notion de réseau*, Thèse, Université Paris 1.
- Tempelhoff, Georg Friedrich von (1781), *Le Bombardier prussien ou du mouvement des projectiles en supposant la résistance de l'air proportionnelle au carré des vitesses*, Berlin.
- Vérin, Hélène (1993), *La Gloire des ingénieurs – L'intelligence technique du XVI^e au XVIII^e siècle*, Paris : Albin Michel.

Annexe I

Je présente ici la liste des articles abordant le problème de la résistance des fluides dans l'*Encyclopédie* (1751-1765) de Diderot et D'Alembert. La première colonne donne le nom de l'article suivi, entre parenthèses, du volume (en chiffres romains) auquel celui-ci appartient. La deuxième colonne précise le(s) désignant(s) tel qu'il apparaît (apparaissent) sur l'original. La troisième mentionne le(s) auteur(s) de l'article. La quatrième donne la liste des renvois ayant un rapport étroit avec notre sujet. La cinquième mentionne enfin, lorsque c'est le cas, l'article de la *Cyclopaedia* (1728) de Chambers dont est inspiré ou qui a été (partiellement ou non) recopié dans l'article correspondant de l'*Encyclopédie*. Les crochets indiquent que l'information résulte d'une déduction de ma part.

Article	Désignant(s)	Auteur(s)	Renvoi(s)	Chambers
Aube (I)	<i>Hydraul.</i>	D'Alembert		
Balistique (II)	<i>Balistique</i>	D'Alembert	Projectile, Résistance	
Conduire les eaux (III)	<i>Hydrauliq.</i>	d'Argenville		
Dépense (IV)	<i>Hydraulique</i>	d'Argenville	Ajutage / Jets d'eau	

A. GUILBAUD

Descente ou chute (IV)	<i>Mechanique</i>	D'Alembert	Pendule	Descent, <i>Fall</i>
Digue (IV)	<i>Hydr.</i>	d'Argenville	Fluide D'Alembert	
Effort ou, résistance (V)	<i>Hydraulique</i>	d'Argenville		
Élévation (V)	<i>Hydraulique</i>	d'Argenville		
Etranglement (VI)	<i>Hydr.</i>	d'Argenville		
Fleuve (VI)	<i>Phys. & Geogr.</i>	D'Alembert	Fluide / Résistance des fluides	River
Fluide (VI)	<i>Phys. & Hydrodyn.</i>	D'Alembert	Fontaine / Hydraulique / Hydrodynamique / Pompe / Résistance / Syphon /	
Frottement (VII)	<i>Hydr.</i>	d'Argenville	Pompe	
Gouvernail (VII)	<i>Marine</i>	Bellin D'Alembert	Rame	
Jet d'eau (VIII)	<i>Hydraulique</i>	d'Argenville <i>Chambers</i> D'Alembert	Fluide	Jet d'eau
Jet (VII)	<i>Art militaire</i>	Le Blond		
Milieu (X)	<i>Mechan.</i>	[D'Alembert]	Résistance	Medium
Milieu éthéré (X)	[<i>Mécanique</i>]	<i>Chambers</i> D'Alembert	Résistance	Subtil medium
Pendule (XII)	<i>Mécanique</i>	Formey <i>Chambers</i>	Résistance	Pendulum

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

		D'Alembert		
Projectile (XIII)	<i>Mécanique</i>	<i>Chambers</i> D'Alembert	Balistique / Jet des bombes	Projectile
Résistance des fluides (XIV)	[<i>Mécanique</i>]	<i>Chambers</i> D'Alembert	Balistique / Cohésion / Fluide / Milieu / Projectile / Vaisseau	Resistance of fluids
Résistance des eaux (XIV)	<i>Hydraul.</i>	d'Argenville		
Retardation (XIV)	<i>Physique</i>	D'Alembert	Résistance	Retardation
Tube (XVI)	<i>Phys.</i>	D'Alembert	Fluide / Fontaine / Frottement / Tuyaux	Tube
Tuyau, Proportion des (XVI)	<i>Hydr.</i>	[d'Argenville]		

Annexe II

Je confronte ici, domaine par domaine (dans l'ordre dans lequel ceux-ci sont abordés dans le présent papier), la liste des articles traitant le problème de la résistance des fluides dans l'*Encyclopédie* de Diderot et D'Alembert (1751-1765) et dans l'*Encyclopédie méthodique de Mathématiques* (1784-1789). Le chiffre romain entre parenthèses indique le numéro de volume auquel l'article appartient. Les articles du dictionnaire de *Mathématiques* sont signalés en gras lorsqu'ils ont été, soit largement coupés et/ou augmentés de façon consistante (+, - ou +/- suivis du nom de l'auteur des modifications), soit complètement renouvelés (nom de l'auteur). L'absence d'article indique que ce dernier n'existe plus dans l'*Encyclopédie métho-*

A. GUILBAUD

dique de *Mathématiques* ou qu'il n'aborde pas (ou plus) la question de la résistance. La mention *Supplément* signifie que le contenu est issu du *Supplément à l'Encyclopédie* (1776-1777) et précise, entre parenthèses, le nom de l'auteur de l'article correspondant (dans le *Supplément*). Les crochets indiquent que l'information résulte d'une déduction de ma part.

Articles FLUIDE et RÉSISTANCE DES FLUIDES

<i>Encyclopédie</i> de Diderot et D'Alembert	<i>Encyclopédie méthodique</i> de <i>Mathématiques</i>
Fluide (VI) D'Alembert	Fluide (II) D'Alembert
Résistance des fluides (XIV) Chambers / D'Alembert	Résistance des fluides (II) + [Charles]

Balistique

<i>Encyclopédie</i> de Diderot et D'Alembert	<i>Encyclopédie méthodique</i> de <i>Mathématiques</i>
Balistique (II) D'Alembert	Balistique (I) + Charles
	Instrument balistique (II) <i>Supplément</i> (Jean III Bernoulli) – [Charles ou Bossut]
	Jet des bombes (II) Charles
Jet (<i>Art militaire</i>) Le Blond	
Projectile Chambers / D'Alembert	Projectile – [Charles]

Hydraulique

<i>Encyclopédie</i> de Diderot et D'Alembert	<i>Encyclopédie méthodique</i> de <i>Mathématiques</i>
Aube (I) Diderot et D'Alembert	Aube (I) Bossut

La résistance des fluides dans la *Méthodique de Mathématiques*

Conduire les eaux (III) d'Argenville	Conduire les eaux (I) d'Argenville
Dépense (IV) d'Argenville	Dépense (I) Bossut
Digue (IV) d'Argenville	Digue (I) Bossut
Effort ou résistance (V) d'Argenville	
Élévation (V) d'Argenville	Élévation (I) – [Bossut]
Étranglement (VI) d'Argenville	Étranglement (I) [d'Argenville]
Fleuve (VI) D'Alembert	Fleuve (II) D'Alembert
Frottement (VII) d'Argenville	
Jet d'eau (VIII) d'Argenville / Chambers D'Alembert	Jet d'eau (II) Charles
	Pompe (II) Bossut
Résistance des eaux (XIV) d'Argenville	
Tube (XVI) D'Alembert	
Tuyau (XVI) [d'Argenville]	

Marine

<i>Encyclopédie</i> de Diderot et D'Alembert	<i>Encyclopédie méthodique</i> de <i>Mathématiques</i>
Gouvernail (VII) Bellin et D'Alembert	Gouvernail (II) –/+ Charles